TRATAMENTUL LASER ÎN BOLILE OCULARE

Coordonator
MARIETA DUMITRACHE

EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE

TRATAMENTUL LASER ÎN BOLILE OCULARE

Coordonator:
MARIETA DUMITRACHE

Copyright © Editura Academiei Române, 2021
Toate drepturile asupra acestei ediţii sunt rezervate editurii.

EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE
Calea 13 Septembrie nr. 13, Sector 5
050711, Bucureşti, România,
Tel: 4021-318 81 46, 4021-318 81 06
Fax: 4021-318 24 44
E-mail: edacad@ear.ro
Adresa web: www.ear.ro

Referent ştiinţific: acad. Victor VOICU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
Tratametul laser în bolile oculare / coord.: Marieta Dumitrache. -
Bucureşti : Editura Academiei Române, 2021
ISBN 978-973-27-3392-9

I. Dumitrache, Marieta (coord.)

617.7

Redactor: Doina ARGEŞANU
Tehnoredactor: Mariana MOCANU
Corectura: Gabriela BURCEA
Coperta: Mariana ŞERBĂNESCU

Bun de tipar: 23.09.2021. Format: 16/70 × 100
Coli de tipar: 22
C.Z.U.: 621.375.826:617.7; 617.7

Scanned with OKEN Scanner

AUTORI

MAGDALENA ANIȚESCU
Profesor universitar MD.Pd.D., University of Chicago, Ilinois, SUA

MARIETA DUMITRACHE
Profesor universitar UMF „Carol Davila" București

CARMEN MOCANU
Profesor universitar, UMF Craiova

SIMONA DELIA NICOARĂ
Profesor universitar, UMF „Iuliu Haţieganu" Cluj

NICOLAE N. PUȘCAȘ
Profesor universitar, Universitatea „Politehnica" București

FLORIN BALTĂ
Conferenţiar UMF „Carol Davila" București

CRISTINA NICULA
Conferenţiar universitar, UMF „Iuliu Haţieganu" Cluj

HORIA T. STANCA
Şef lucrări UMF „Carol Davila" București

ANDREI S. ȘTEFĂNESCU-DIMA
Şef lucrări UMF Craiova

VALENTIN DINU
Asistent universitar, UMF „Carol Davila" Bucureşti

BOGDANA TĂBĂCARU
Asistent universitar UMF „Carol Davila" Bucureşti

ANDREEA GABRIELA MOCANU
Asistent universitar, UMF Craiova

ANDREI OLARU
Asistent universitar UMF Craiova

GRETA DENISA OLARU
Asistent universitar UMF Craiova

Scanned with OKEN Scanner

CORNELIA ANDREEA TĂNASIE
Asistent universitar UMF Craiova

MIRUNA CIOBOATĂ
Medic primar Spitalul Clinic de Urgențe Oftalmologice București

RODICA LASCU
Medic primar oftalmolog, Clinica Oftalmologică „iMed" Sibiu

ANCA OPRESCU
Medic primar oftalmolog, Spitalul Târgoviște

ELENA DORINA POPA
Medic primar oftalmolog, Spitalul Județean Sibiu

RAMONA ȘERBAN
Medic primar oftalmolog, Spitalul Clinic de Urgențe Oftalmologice București

GEORGE BALTĂ
Medic rezident oftalmolog, UMF „Carol Davila" București

PATRICIA NICULA
Medic rezident oftalmolog

ANA MARIA STANCA
Student UMF „Carol Davila" București

Scanned with OKEN Scanner

Cărți apărute sub redacţia Prof. univ. dr. Marieta DUMITRACHE

- Marieta Dumitrache, *Boli infecțios-inflamatorii ale ochiului*, Editura Academiei Române, 2020, ISBN 978-973-27-3242-7.
- Marieta Dumitrache, *Neurooftalmologie*, ediția a doua, Editura Academiei Române, 2019, ISBN-978-973-27-3126-0.
- Marieta Dumitrache, *Management în bolile oculare*, Editura Medicală, București, 2019, ISBN 978-973-39-0869-2.
- Marieta Dumitrache, *Boli oculare la persoane în vârstă*, Editura Kalisto, 2018, ISBN 13.978-603-8043-390.
- Marieta Dumitrache, *Boli oculare la copii*, Editura Medicală, 2017, ISBN 978-973-39-0833-3.
- Marieta Dumitrache, *Boli oculare de urgență*, Editura Medicală, București, 2016, ISBN 978-973-39-0813-5, **Premiul „Victor Babeș" al Academiei Române, 2018.**
- Marieta Dumitrache, *Compendiu de patologie oftalmologică*, Editura Medicală, București, 2015, ISBN, 978-39-0795-4.
- Marieta Dumitrache, *Tratament medical în bolile oculare*, Editura Medicală, București, 2014, ISBN 978-973-39-0768-5.
- Marieta Dumitrache, *Sindroame și boli sistemice cu manifestări oculare*, Editura Medicală, 2014, ISBN 978-973-39-0769-5.
- Marieta Dumitrache, *Tratament chirurgical și tratament laser în bolile oculare*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2014, ISBN 978-973-708-741-6.
- Marieta Dumitrache, *Neurooftalmologie*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2013, ISBN 978-973-708-629-7.

Scanned with OKEN Scanner

- Marieta Dumitrache, *Tratat de oftalmologie*, 3 volume, ediția a doua, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2012, ISBN 978-973-708-610-5.
- Marieta Dumitrache, *Explorări funcționale în oftalmologie*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2011, ISBN 978-973-708-526-9.
- Marieta Dumitrache, *Oftamologie pediatrică*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2010, ISBN 978-973-708-475-0.
- Marieta Dumitrache, Magdalena Anițescu, Alina Mihaela Ciocâlteu, *Urgențe oculare netraumatice*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2009, ISBN 978-973-708-394-4.
- Marieta Dumitrache, Magdalena Anițescu, V. Potop, *Traumatisme oculare*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2009, ISBN 978-973-708-403-3, **Premiul „Petre Vancea" al Academiei Oamenilor de Știință**, 2011.
- Marieta Dumitrache, *Oftalmologie clinică*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2008, ISBN 978-973-708-317-3.
- Marieta Dumitrache, *Tumori oculare*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2008, 2008, ISBN 978-973-708-329-6.
- Marieta Dumitrache, Magdalena Anițescu, V. Potop, *Oftalmologie – curs interactiv pentru studenți*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2008, ISBN 978-973-708-318-0.
- Marieta Dumitrache, *Oftalmologie interactivă*, Editura Universitară „Carol Davila", București, 2006, ISBN (10) – 973-708-141-2, ISBN (13) - 973-708-141-4.
- Marieta Dumitrache, *Tratat de oftalmologie*, Ediția 1, 2005, Editura Universitară „Carol Davila", 2 volume, ISBN 973-708-051-3.
- Marieta Dumitrache, *Oftalmologie*, Editura Național, 1998, ISBN 973-9308-24-4.
- Magdalena Anițescu, Marieta Dumitrache, *Herpes ocular*, Editura Național, 1998.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

CUVÂNT-ÎNAINTE (*Marieta DUMITRACHE ARSENE*)..... 11

Capitolul 1. LASERE. NOŢIUNI FUNDAMENTALE
Nicolae N. PUŞCAŞ..... 13

Capitolul 2. LASER-UL ÎN OFTALMOLOGIE. GENERALITĂŢI
Dorina POPA, Valentin DINU..... 55

Capitolul 3. FENOMENUL LASER. CLASIFICARE LASER. EFECTE BIOLOGICE ALE LASER
Magdalena ANIŢESCU..... 83

Capitolul 4. TEHNOLOGII LASER NOI
Marieta DUMITRACHE..... 109

Capitolul 5. CHIRURGIA REFRACTIVĂ LASER A CORNEEI
Horia T. STANCA, Bogdana TĂBĂCARU, Ana-Maria STANCA..... 129

Capitolul 6. CHIRURGIA OCULARĂ LASIK. RISCURI ŞI COMPLICAŢII
Rodica LASCU..... 167

Capitolul 7. TRATAMENTUL LASER YAG-NEODINIUM ÎN OPACIFIEREA CAPSULEI POSTERIOARE
Cristina NICULA..... 175

Capitolul 8. TRATAMENTUL LASER ÎN BOALA GLAUCOMATOASĂ
Cristina NICULA, Patricia NICULA..... 183

Capitolul 9. PATOLOGIE RETINIANĂ CU INDICAŢII DE TRATAMENT FOTOCOAGULATOR LASER
Marieta DUMITRACHE..... 195

Capitolul 10. TRATAMENTUL LASER ÎN BOLILE RETINIENE
Florin BALTĂ, Anca OPRESCU, George BALTĂ..... 237

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 11. NEOVASCULARIZAŢIA RETINIANĂ ŞI COROIDIANĂ
Andreea Gabriela MOCANU 257

Capitolul 12. TRATAMENTUL LASER ÎN NEOVASCULARIZAȚIA RETINO-COROIDIANĂ
Miruna CIOBOATĂ, Marieta DUMITRACHE 265

Capitolul 13. LASERUL ÎN RETINOPATIA DIABETICĂ PROLIFERATIVĂ
Ramona ŞERBAN 273

Capitolul 14. TRATAMENTUL LASER ÎN RETINOPATIA DIABETICĂ
Andrei OLARU 285

Capitolul 15. TRATAMENTUL LASER ÎN AFECŢIUNILE VASCULARE RETINIENE
Carmen MOCANU 293

Capitolul 16. FOTOCOAGULAREA LASER ÎN TROMBOZELE VENOASE RETINIENE
Simona Delia NICOARĂ 305

Capitolul 17. FOTOCOAGULAREA LASER ÎN RETINOPATIA DE PREMATURITATE
Simona Delia NICOARĂ 313

Capitolul 18. TERAPIA LASER ÎN PATOLOGIA RETINEI PERIFERICE
Alin Ştefan ŞTEFĂNESCU-DIMA, Cornelia Andreea TĂNASIE 323

Capitolul 19. OPȚIUNI DE TERAPIE LASER ÎN AFECȚIUNILE MACULEI
Horia T. STANCA 331

Capitolul 20. TRATAMENTUL LASER ÎN AFECȚIUNILE MACULARE
Greta Denissa OLARU 347

Scanned with OKEN Scanner

CUVÂNT-ÎNAINTE

„Medicina este ştiinţă şi conştiinţă"

Prof. dr. Iuliu Haţieganu

Tratamentul LASER este o intervenţie mult practicată în lume, pe un număr mare de pacienţă, fiind puţin invaziv, precis, relativ ieftin, reproductibil, fără efecte sistemice, cu posibile efecte secundare locale minime.

În timp, tehnologia LASER s-a perfecţionat, folosindu-se în prezent LASERE performante – PASCAL – cu fotocoagulare LASER *in pattern scanning* sigur, rapid, eficient, tehnica de fotocoagulare LASER navigat – NAVILASS – sau tehnica prin diodă micro-propulsată sub prag.

Tratamentul LASER unic sau în asociere cu tratamentul medico-chirurgical este indicat în patologia vasculară retiniană cu componentă ischemică şi în tratamentul leziunilor periferice retiniene.

LASERUL este indicat în glaucomul cu unghi închis, deschis curativ, când tratamentul nu mai controlează boala, prin tehnici de fotocoagulare multiple, bine standardizate în funcţie de tipul de glaucom, progresia şi evoluţia bolii.

Chirurgia refractivă a corneei cu LASER excimer sau LASER cu femtosecunde reprezintă un progres remarcabil în tratamentul viciilor de refracţie.

Tratamentul LASER cu indicaţie corectă reprezintă o metodă terapeutică importantă, de mare utilitate, în unele boli oculare, dar trebuie cunoscute limitele, riscurile şi complicaţiile acestei metode de către medic, cu informarea pacientului.

Medicul oftalmolog complet trebuie să cunoască şi să folosească cu discernământ tratamentul LASER în boli oculare, metodă terapeutică curentă, motiv pentru care am considerat necesar a scrie această carte în colaborare cu colegi de mare prestigiu din reţeaua medicală.

Pregătirea profesională a medicilor, prin educaţie medicală oftalmologică, este esenţială pentru ca aceştia să răspundă misiunii lor la cel mai înalt nivel şi să asigure pacienţilor competenţe medicale eficiente.

Cartea se adresează medicilor oftalmologi ale căror preocupări profesionale practice şi/sau teoretice sunt ameliorarea/staţionarea bolii oculare prin tratament LASER personalizat, unic sau asociat cu tratament medico-chirurgical.

Prof. dr. Marieta Dumitrache Arsene

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 1

LASERE. NOŢIUNI FUNDAMENTALE

1.1. INTRODUCERE

NICOLAE N. PUŞCAŞ

În sens larg, *optica* este o ramură a fizicii care include toate fenomenele asociate cu generarea *luminii*, transmisia şi detecţia acesteia, dar şi interacţiunea cu materia, lumina constituind baza opticii.

În anul 1900, Max Planck a reuşit să explice distribuţia spectrală a intensităţii radiaţiei emise de corpul negru, renunţând la descrierea clasică a interacţiei dintre materie şi radiaţie. El a emis ipoteza că *absorbţia* şi *emisia radiaţiei* de către corpul negru nu are loc în mod continuu ci prin cantităţi discrete şi indivizibile, sau *cuante de energie* (*fotoni*) punând bazele unei discipline noi, *mecanica cuantică*. Astfel, energia unui oscilator de frecvenţă ν este cuantificată, adică, energia emisă sau absorbită de un oscilator poate să ia numai valorile 0, $h\nu$, $h^2\nu$, unde $h = 6{,}625\ 10^{-34}$ J·s este *constanta Planck*, aceasta fiind o constantă fundamentală în natură, baza fizicii cuantice. Sunt posibili numai multipli ai cuantei de energie Planck care are dimensiunile unei acţiuni (energie × timp, sau impuls × lungime).

Între anii 1926–1927, P.A.M. Dirac a pus bazele tratării cuantice a proceselor de *absorbţie*, *emisie spontană* şi *emisie stimulată* a sistemelor atomice observând că dacă se realizează *inversia de populaţie între două nivele energetice* este posibilă obţinerea unui *coeficient de absorbţie negativ*.

În anul 1957 C.H. Townes, N.G. Basov şi A. M. Prokhorov au descoperit principiul de funcţionare al *maserului* (***M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation*) cu trei nivele la gaze după o idee sugerată de N. Bloembergen. Între anii 1957–1958 au fost fabricate primele masere cu solid (ioni paramagnetici de Gd^{3+} şi Cr^{3+} în cristalul de rubin), care au fost aplicate în radioastronomie, radiolocaţie etc. Aceste masere au constituit punctul de plecare al fabricării *laserului* (***L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation*) [1–6].

Extinzând emisia stimulată în domeniul frecvenţelor optice în anul 1958 A.L. Schawlow şi C.H. Townes au pus bazele teoretice ale laserul optic bazat pe folosirea inversiei de populaţie, iar în 1960, T.H. Maiman a construit primul laser

Scanned with OKEN Scanner

cu rubin [1]. Primul laser cu gaz în care inversia de populaţie s-a obţinut printr-o descărcare electrică în neon şi heliu a fost realizat în anul 1960 (A. Javan, W.R. Bennett Jr., D.R. Herriott) [2].

În anul 1962 au fost fabricate primele surse de lumină emise de diodele semiconductoare (***LED***, ***Light-Emitting Diode***) în care electronii dintr-un semiconductor se recombină cu golurile, iar energia rezultată este emisă sub formă de fotoni. LED-urile emit lumină într-un spectru larg, din domeniul ultraviolet (*UV*) până în infraroşu (*IR*) fiind des întrebuinţate în medicină. În cazul ghidării luminii în structuri planare primele cercetări au fost efectuate în joncţiuni semiconductoare de tip *p-n* de către A. Yariv şi colaboratorii în anul 1963 când a fost observată şi analizată radiaţia laser emisă de aceste dispozitive [3].

Între anii 1961–1962 N. Bloembergen, R.V. Klokhlov şi alţii urmând ideile lui S I. Vavilov au pus bazele unei noi discipline, *optica neliniară*. În anul 1961 P.A.M. Franken şi colaboratorii au obţinut generarea celei de-a doua armonici optice cu lungimea de undă de 347,2 nm produsă în urma interacţiei dintre o radiaţie laser intensă, (având lungimea de undă de 694,3 nm) emisă de un laser cu rubin şi un cristal de cuarţ.

Între anii 1985–1987 prin utilizarea unor lasere de mare putere ($\sim 10^{12}$ W în regim de vârf) au fost evidenţiate amplificări ale radiaţiei având lungimi de undă $\lambda = 10{,}5$ nm(G. Jamelot şi H. Guennon) şi $\lambda = 2$ nm, întrevăzându-se posibilitatea de a se trece privind emisia stimulată de la domeniul radiaţiilor *X* moi la radiaţiile *X* dure.

În ultimii ani au fost create premizele ca astfel de dispozitive să genereze radiaţii coerente şi în domeniul radiaţiilor γ.

La noi în ţară primul laser (heliu-neon) a fost realizat în anul 1962 de către un colectiv condus de prof. I. Agârbiceanu, existând preocupări în domeniul cercetării asupra laserelor, fenomenelor care le guvernează funcţionarea precum şi aplicaţiilor practice ale acestora în: telecomunicaţii, medicină, biologie, uzinaj fotonic etc., obţinându-se cu precădere în ultimii ani o serie de rezultate valoroase [8].

1.2. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

Un dispozitiv *laser* este constituit din două sisteme fizice în interacţie: *câmpul electromagnetic* dintr-un *rezonator optic* (*cavitate optică*) şi un *mediu activ* situat în acelaşi rezonator optic. Atomii, moleculele sau ionii mediului activ au cel puţin *două nivele energetice* a căror diferenţă de energie corespunde unei *frecvenţe care este în rezonanţă cu una din frecvenţele proprii ale rezonatorului optic*.

Dacă atomii mediului activ sunt excitaţi pe nivelul energetic superior printr-un mecanism oarecare, modul electromagnetic rezonant îi stimulează pentru a trece pe nivelul energetic inferior. În decursul acestui proces de *emisie stimulată*, atomii transferă diferenţa de energie câmpului electromagnetic din cavitate, energia acestora fiind transferată unui singur mod de oscilaţie a cărui frecvenţă este în

Scanned with OKEN Scanner

rezonanţă cu frecvenţa rezonatorului optic. În cazul când este asigurat o diferenţă de populaţie între cele două nivele atomice, dispozitivul funcţionează un *amplificator cuantic de radiaţie* [3–7].

1.3. PROCESELE DE EMISIE ŞI ABSORBŢIE

Pentru a studia *procesele de emisie şi absorbţie* se consideră un câmp electromagnetic de pulsaţie ω şi *densitate spectrală de energie radiantă* $w_\omega(\omega,T)$ care interacţionează cu un mediu ce conţine atomi cu două nivele de energie W_1 şi W_2 (fig. 1) ale căror populaţii la echilibru termodinamic sunt N_1 şi N_2. Se admite că nivelul W_1 este degenerat de g_1 ori, iar nivelul W_2 este degenerat de g_2 ori.

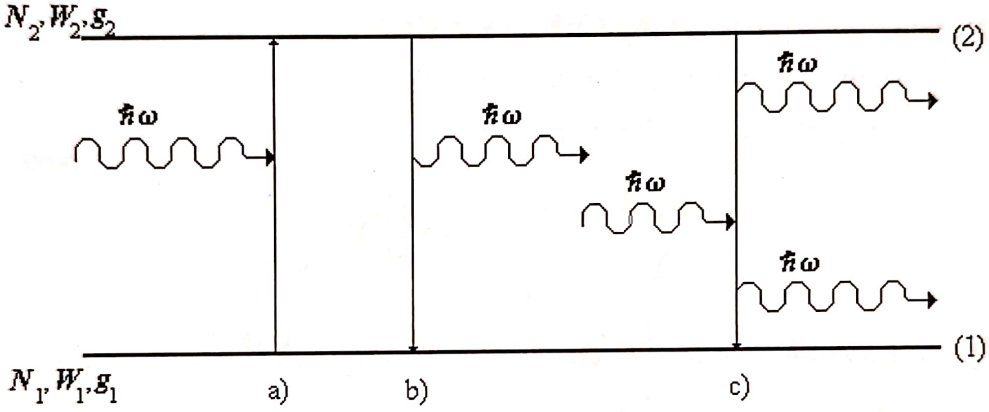


Figura 1. Diagrama nivelelor energetice.

La o temperatură T suficient de mare, la care se poate aplica statistica Boltzmann, raportul populaţiilor celor două nivele este:

$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{g_2\exp\left[-\dfrac{W_2-W_0}{kT}\right]}{g_1\exp\left[-\dfrac{W_1-W_0}{kT}\right]}=\frac{g_2}{g_1}\exp\left[-\frac{W_2-W_1}{kT}\right]=\frac{g_2}{g_1}\exp\left[-\frac{\hbar\omega}{kT}\right], \quad (1.1)$$

întrucât între pulsaţia ω şi W_1 şi W_2 există relaţia:

$$\hbar\omega=W_2-W_1, \quad (1.2)$$

iar k este constanta Boltzmann.

Dacă $W_2 > W_1$, în mod natural $N_2 < N_1$. Starea de *echilibru termodinamic a radiaţiei cu mediul* prin care se propagă este atinsă când numărul proceselor de absorbţie a radiaţiei de către mediu este egal cu numărul proceselor de emisie a radiaţiei de către mediu.

Scanned with OKEN Scanner

Prin procesul de *absorbţie* numărul de atomi de pe nivelul (1) scade în timp conform relaţiei:

$$\left(\frac{dN_1}{dt}\right)_{abs} = -B_{12} N_1 w_\omega(\omega, T) \tag{1.3}$$

unde B_{12} este *coeficientul de absorbţie Einstein.* În relaţia (6.3) produsul $B_{12} w_\omega(\omega, T)$ reprezintă *probabilitatea de absorbţie din unitatea de timp.* Procesul de absorbţie (a) este reprezentat în figura 1.1. În urma absorbţiei unui foton are loc tranziţia unui atom între nivelele (1)→(2).

Dacă în starea iniţială atomul sau molecula se află în starea cu energia $W_2 > W_1$ acesta tinde să treacă pe nivelul cu energia mai mică W_1 emiţând un foton cu energia $\hbar\omega = W_2 - W_1$. Aceasta este fenomenul de *emisie spontană* şi este reprezentat prin procesul (b) din figura 1.

Scăderea în timp a numărului de atomi din unitatea de volum cu energia W_2 datorită emisiei spontane este dat de relaţia:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{sp} = -A_{21} N_2 \tag{1.4}$$

unde A_{21} reprezintă *probabilitatea de emisie spontană.* În relaţia (1.4) nu apare densitatea de energie $w_\omega(\omega, T)$ a radiaţiei, acest proces putând avea loc în lipsa câmpului electromagnetic exterior.

Dacă la $t = 0$, populaţia nivelului superior este $N_2|_{t=0} = N_{20}$, după integrarea ecuaţiei (1.4) rezultă:

$$N_2 = N_{20} \exp(-A_{21} t) = N_{20} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \tag{1.5}$$

unde $\tau = \dfrac{1}{A_{21}}$ este *timpul de viaţă pentru emisia spontană.*

Dacă atomul sau molecula se află iniţial pe nivelul de energie W_2 şi o undă electromagnetică având frecvenţa $\omega = \dfrac{W_2 - W_1}{\hbar}$ este incidentă pe material, există o probabilitate nenulă ca această undă să stimuleze (să forţeze) atomul pentru a efectua tranziţia (2)→(1). În acest caz se emite un foton cu aceeaşi frecvenţă ca şi cei incidenţi, care se adaugă la unda incidentă. Acesta este fenomenul de *emisie stimulată* şi este reprezentat prin procesul (c) din figura 1. Spre deosebire de emisia spontană, când atomul emite o undă electromagnetică în relaţie de fază nedefinită

Scanned with OKEN Scanner

cu cea emisă de alţi atomi, în cazul emisiei stimulate fotonii emişi de toţi atomii sunt în fază cu cel incident.

Scăderea în timp a numărului de atomi de pe nivelul (2) datorită procesului de emisie stimulată este dată de relaţia:

$$\left(\frac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t}\right)_{st} = -B_{21}N_2 w_\omega(\omega,T) \tag{1.6}$$

unde B_{21} este *coeficientul Einstein pentru emisia indusă*, iar $B_{21}w_\omega(\omega,T)$ reprezintă *probabilitatea de emisie indusă.*

Echilibrul termodinamic al radiaţiei este atins *când numărul proceselor de absorbţie este egal cu numărul proceselor de emisie.*

1.4. INVERSIA DE POPULAŢIE

Intensitatea radiaţiei într-un punct M (oarecare) şi în direcţia $\vec{u}$, $I(\mathrm{M},\vec{u})$ este dată de *energia radiantă* $\mathrm{d}W$ care traversează în *intervalul de timp* $\mathrm{d}t$ *elementul de arie* $\mathrm{d}S$, (situat în jurul punctului M, perpendicular pe direcţia $\vec{u}$), după toate direcţiile cuprinse în unghiul solid $\mathrm{d}\Omega$: $I(\mathrm{M},\vec{u}) = \dfrac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t\mathrm{d}S\mathrm{d}\Omega}$. Dacă $\mathrm{d}I$ este intensitatea emisă de un corp în intervalul de frecvenţe $\mathrm{d}\nu$, atunci *intensitatea spectrală* I_ν se defineşte cu relaţia: $I_\nu = \dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}\nu}$.

Dacă o undă plană de intensitate I traversează un mediu cu două nivele energetice (fig. 1) aceasta este absorbită, coeficientul de absorbţie al undei prin mediu fiind definit cu ajutorul legii Lambert-Beer:

$$\alpha_\omega = -\frac{1}{I_\omega}\cdot\frac{\mathrm{d}I_\omega}{\mathrm{d}x} - \frac{1}{cw_\omega}\cdot\frac{\mathrm{d}w_\omega}{\mathrm{d}t} \tag{1.7}$$

unde $\mathrm{d}x = c\mathrm{d}t$ este distanţa parcursă de radiaţie prin mediu în intervalul de timp $\mathrm{d}t$, c este viteza luminii, iar $w_\omega = \dfrac{4I_\omega}{c}$ este densitatea de energie din unitatea de volum.

La traversarea unităţii de volum numărul de atomi capabili să absoarbă un foton este N_1, iar numărul de atomi capabili să emită stimulat câte un foton de energie ω este N_2. Densitatea de energie din unitatea de volum de mediu este:

$$w_\omega = (N_1 - N_2)\hbar\omega \tag{1.8}$$

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul formulelor (1.3)–(1.6) şi (1.8) relaţia (1.7) poate fi scrisă succesiv sub forma:

$$\alpha_\omega = \frac{1}{c}(B_{12}N_1 - B_{21}N_2)\hbar\omega = \left(\frac{\pi c}{\omega}\right)^2 \cdot \left(\frac{g_2}{g_1}N_1 - N_2\right)\frac{1}{\tau} \qquad (1.9)$$

Din relaţia (1.9) se observă că, dacă $\frac{g_2}{g_1}N_1 > N_2$ are loc *absobţia radiaţiei*, iar dacă $\frac{g_2}{g_1}N_1 < N_2$ are loc *emisia stimulată*.

În al doilea caz în mediu este realizată *inversia de populaţie*. Un astfel de material se numeşte laser *activ* şi radiaţia electromagnetică care traversează un astfel de mediu este *amplificată*.

1.5. CONDIŢIA DE PRAG

Pentru a obţine un *oscilator* dintr-un amplificator este necesar ca sistemul să aibă o *reacţie pozitivă*. În regiunea optică, reacţia pozitivă se obţine plasând mediul laser activ între *două oglinzi* cu coeficientul de reflexie foarte mare (fig. 2). Dacă rezonatorul optic conţine mediul activ cavitatea optică este *activă*, iar dacă nu conţine mediul activ aceasta este *pasivă*.

În cazul cavităţii active unda electromagnetică plană se propagă în spaţiul dintre oglinzi (cavitatea Fabry-Pérot), efectuând drumuri dus-întors, fiind amplificată la fiecare traversare a mediului laser activ. Dacă una din oglinzi este parţial transparentă, acesta lasă să treacă fasciculul laser de ieşire.

Pentru a se obţine un fascicul laser de ieşire este necesar ca energia rezultată din emisia stimulată (*câştigul*) să depăşească *pierderile de energie* prin diferite fenomene (*cuplajul de ieşire*, *difracţia*, *neomogenităţile mediului* etc.), condiţie cunoscută sub numele de *condiţie de prag*.

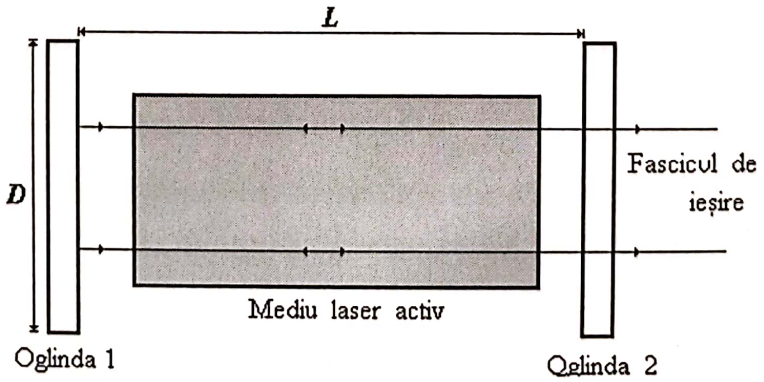


Figura 2. Schema simplificată a unui laser.

Scanned with OKEN Scanner

Intensitatea fasciculului laser, I_1 care traversează oglinda 2 în unitatea de timp este dată de relaţia:

$$dI_1 = -I_1 \frac{c}{L}(1-R)dt \tag{1.10}$$

unde R este coeficientul de reflexie al oglinzii 2, iar L este lungimea cavităţii. Integrând ecuaţia (1.10) rezultă:

$$I_1 = I_{10} \exp\left[-\frac{c}{L}(1-R)t\right] = I_{10} \exp\left[-\frac{t}{\tau_1}\right] \tag{1.11}$$

unde s-a făcut notaţia:

$$\tau_1 = \frac{L}{c(1-R)} \tag{1.12}$$

Scăderea intensităţii fasciculului datorită traversării oglinzii de ieşire introduce un *factor de calitate al cavităţii*:

$$Q_1 = \omega\tau_1 = \frac{\omega L}{c(1-R)} \tag{1.13}$$

Oglinzile având dimensiuni finite (se consideră oglinzi sub forma unui disc cu diametrul D), intensitatea pierdută prin difracţie, I_2 pe orificiul din oglinda de ieşire în unitatea de timp este dată de:

$$\frac{dI_2}{dt} = -I_2 c\left|\frac{d\theta}{dD}\right| \tag{1.14}$$

unde D este diametrul oglinzii.

Ţinând seama că pentru unghiuri mici

$$\sin\theta \cong \theta = \frac{\lambda}{D} \tag{1.15}$$

iar

$$\left|\frac{d\theta}{dD}\right| = \frac{2\pi c}{\omega D^2} \tag{1.16}$$

după integrarea ecuaţiei (1.14), rezultă:

$$I_2 = I_{20} \exp\left[-\frac{2\pi c^2}{\omega D^2}t\right] = I_{20} \exp\left[-\frac{t}{\tau_2}\right] \tag{1.17}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde:

$$\tau_2 = \frac{\omega D^2}{2\pi c^2} \tag{1.18}$$

Pierderilor prin difracţie prin orificiul oglinzii de ieşire le corespunde factorul de calitate:

$$Q_2 = \omega\tau_2 = \frac{2\pi D^2}{\lambda^2} = \frac{\omega^2 D^2}{2\pi c^2} \tag{1.19}$$

Factorul de calitate al cavităţii este dat de relaţia:

$$Q = \omega\tau_Q = \frac{\omega}{\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}} = \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{\omega^2 D^2 L}{c\left[\omega D^2 (1-R) + 2\pi c L\right]} \tag{1.20}$$

Puterea totală pierdută prin aceste procese este:

$$P_p = n\frac{\hbar\omega}{\tau_Q} = n\frac{\hbar\omega^2}{Q} \tag{1.21}$$

unde *n* este numărul de fotoni absorbiţi în unitatea de volum.

Cu ajutorul relaţiilor (1.3), (1.4) şi (1.6) *puterea totală emisă* poate fi scrisă sub forma:

$$P = \frac{dN}{dt}\hbar\omega = w_\omega\left(B_{21}N_2 - B_{12}N_1\right)\hbar\omega = B_{21}w_\omega\left(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1\right)\hbar\omega \tag{1.22}$$

Condiţia de oscilaţie se scrie:

$$P \geq P_p \tag{1.23}$$

Ţinând seama de relaţiile (1.21) şi (1.22) se obţine *condiţia de oscilaţie* sub forma:

$$N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1 \geq \frac{\tau\omega^3\Delta\omega}{\pi^2 c^3 Q} \tag{1.24}$$

unde:

$$B_{21} = A_{21}\frac{\pi^2 c^3}{\hbar\omega^3} \text{ şi } A_{21} = \frac{1}{\tau} \tag{1.25}$$

Scanned with OKEN Scanner

iar

$$w_\omega \Delta\omega = n\hbar\omega \tag{1.26}$$

w_ω fiind densitatea spectrală de energie.

Relaţia (1.24) exprimă dependenţa inversiei de populaţie de parametrii atomici ai sistemului ($\tau, \Delta\omega, \omega, \lambda$) cât şi de factorul de calitate al cavităţii Q. În cazul egalităţii se obţine valoarea minimă a inversiei de populaţie pentru care apare *efectul laser*. Din acest motiv relaţia (1.26) poartă numele de *condiţia de prag*. Înlocuind în relaţia (1.24) $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$ se observă că inversia de populaţie este dată de formula:

$$N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1} \sim \frac{1}{\lambda^3} \tag{1.27}$$

adică inversia de populaţie este invers proporţională cu puterea a treia a lungimii de undă. Aceasta explică faptul de ce este mult mai dificil de realizat un laser pe lungimi de undă scurte (în ultraviolet) decât în domeniul infraroşu apropiat al spectrului. Din relaţia (1.24) se observă că inversia de populaţie pentru timpi de viaţă de acelaşi ordin de mărime trebuie să fie de o mie de ori mai mare pentru λ=250 nm decât pentru λ=2500 nm. În al doilea rând, diferenţa de populaţie $N_2 - N_1$ este o caracteristică a sistemului atomic, care nu poate fi mărită peste anumite limite. Rezultă că singurele metode utilizate pentru a realiza condiţia de prag sunt fie de a acţiona asupra factorului de calitate al cavităţii prin mărirea lungimii mediului activ (ceea ce în majoritatea cazurilor comportă serioase dificultăţi experimentale) sau prin îmbunătăţirea reflexiei oglinzilor, astfel ca $(1-R)$ să fie cât mai mic.

În al treilea rând din relaţia (1.24) se observă că:

$$N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1} \sim \tau \tag{1.28}$$

ceea ce indică faptul că cu cât tranziţia este mai probabilă, având un timp de viaţă mai scurt, cu atît efectul laser se poate obţine la o inversie de populaţie mai mică.

1.6. MECANISME DE EXCITARE

Excitarea mediului laser activ în vederea creării inversiei de populaţie peste nivelul de prag se poate obţine prin diferite mecanisme, cele mai utilizate fiind: *ciocnirile electronice*, *transferul rezonant de excitaţie*, *pompajul optic*, *procesele*

Scanned with OKEN Scanner

gaz-dinamice, reacţii chimice, efectul Penning, injecţia de curent, pompajul cu fascicule de electroni [4–7,10–12].

Excitarea prin ciocniri electronice. Este metoda cea mai utilizată pentru excitarea laserelor cu gaz. În urma unei descărcări electrice într-un mediu gazos, în incintă apar ioni şi electroni care prin accelerare în câmp electric pot excita prin ciocniri atomii şi moleculele neutre. Câmpul electric accelerator poate fi continuu, de radiofrecvenţă, pulsatoriu etc.

Deplasarea electronilor fiind mult mai mare decât a ionilor, procesele caracteristice de ciocnire sunt de tipul:

$$A + e^- \rightarrow A^* + e^- - E_c \tag{1.29}$$

numite *ciocniri de speţa întâi*. Electronul accelerat e^- într-un câmp electric exterior cedează energia sa cinetică, E_c atomului A pe care-l excită. Ciocnirile de speţa întâi sunt ciocniri neelastice (se modifică energia şi direcţia electronului incident).

Alături de procesele de excitare, ciocnirile electron-atom pot determina procese de ionizare de tipul:

$$A + e^- \rightarrow A^+ + 2e^- + \Delta E \tag{1.30}$$

Aceste procese influenţează indirect producerea inversiei de populaţie în mediul laser activ.

Există două tipuri de ciocniri electronice:

a) care determină tranziţii permise optic;

b) care determină tranziţii interzise optic.

Excitarea prin transfer rezonant de excitaţie. Transferul rezonant de excitaţie apare ca urmare a proceselor de ciocnire de tipul:

$$A^* + B \leftrightarrow A + B^* + \Delta E, \qquad (\Delta E < kT) \tag{1.31}$$

numite *ciocniri de speţa a doua*, A şi B fiind atomii a două specii de gaz aflate în amestec (în stare fundamentală) atomii A^*, B^* fiind în stare excitată.

Există diferite scheme de producere a *transferului rezonant de energie*:

– *ciocniri atom-moleculă*

$$A^* + BC \rightarrow A + BC^* + \Delta E \tag{1.32}$$

– *disocierea moleculei*

$$A^* + BC \rightarrow A + B^* + C^* + \Delta E \tag{1.33}$$

Ciocniri atom-atom. Ciocnirile atom-atom au loc în *laserele atomice*, cum ar fi de exemplu laserul cu He-Ne (energia stărilor 2^3S şi 2^1S ale He, excitate prin ciocnirile electronice; $2s$ şi $3s$.

Scanned with OKEN Scanner

Ciocniri atom–moleculă. Ciocnirile atom–moleculă se manifestă în cazul *laserelor moleculare* şi pot avea loc cu:

– excitarea unei stări vibraţionale

$$Na^{*}(3P_{3/2,1/2})+CO \rightarrow Na(3^{2}S_{1/2})+CO^{*} \qquad (1.34)$$

– excitare prin disociere (transfer disociativ de excitare) – gaze poliatomice (O_2, CO_2, CO etc.)

$$Hg^{*}+CH_2CF_2 \rightarrow Hg+CHCF+HF^{*} \qquad (1.35)$$

(rezultă molecule de HF^{*} excitate pe nivele vibraţionale).

Ciocniri moleculă-moleculă, Pomparea moleculelor de CO_2 cu ajutorul moleculelor de N_2 $\left(\Delta E=-18\,cm^{-1}\right)$ reprezintă un exemplu tipic de ciocnire moleculă-moleculă.

Excitarea prin pompaj optic. A fost propusă de A. Schawlow şi G.H. Townes şi se realizează cu ajutorul unor surse de radiaţii de bandă largă sau monocromatice. Când procesele de excitare optică rezonantă depăşesc pe cele de dezexcitare se poate crea în mediul studiat inversia de populaţie caracteristică dispozitivelor de tip laser. De exemplu, laserul cu rubin este *pompat optic* cu un flash cu xenon, laserul cu iod este pompat tot cu flash cu Xe, iar laserul cu cesiu este pompat cu o sursă conţinând He.

Scheme pentru realizarea inversiei de populaţie prin pompaj optic:

– scheme cu trei nivele, normală şi inversată [(fig. 3 a), b)];

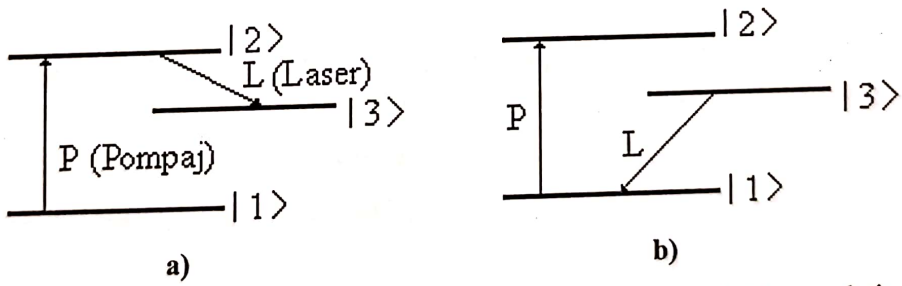


Figura 3. a), b). Scheme cu trei nivele pentru realizarea inversieide populaţie prin pompaj optic, a) normală şi b) inversată.

– scheme de pompaj optic cu patru nivele [fig. 4. a)–d)].

În figura 4 d) este prezentată o schemă de tip *push-pull* în care pompajul optic normal are loc prin popularea nivelului laser superior $|2\rangle$, iar pompajul optic inversat pe nivelul $|4\rangle$ se obţine prin depopularea nivelului laser inferior $|3\rangle$.

Mecanisme de realizare a inversiei de populaţie în semiconductori. Într-un cristal semiconductor, nivelele energetice posibile ale electronilor în cristal sunt

Scanned with OKEN Scanner

distribuite în *banda de valenţă* (BV) şi în *banda de conducţie* (BC), benzi energetice separate printr-o *bandă interzisă* de până la ~3 eV (fig. 5, 6).

Pentru creşterea artificială a conductivităţii electrice la temperatura camerei, semiconductorul poate fi dopat cu impurităţi donoare de electroni, iar cristalul semiconductor, (*n*) are electronii ca purtători de sarcină majoritari, sau cu impurităţi acceptoare de electroni, iar semiconductorul (*p*) are golurile (absenţele electronilor) ca purtători majoritari.

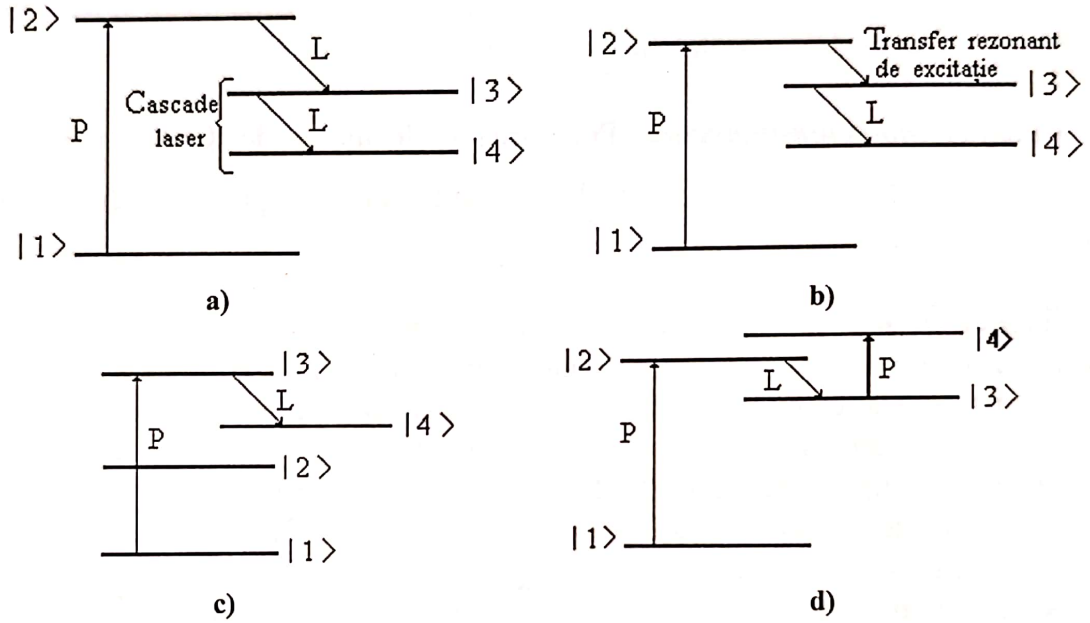


Figura 4. a)–d). Scheme cu patru nivele
pentru realizarea inversiei de populaţie prin pompaj optic.

Considerând cazul unui dopaj peste o anumită limită a concentraţiei de impurităţi, atât donoare cât şi acceptoare, atât în BC cât şi în BV, electronii nu pot avea energii decât până la anumite valori, denumite *cvasinivele Fermi*: W_{Fc} în banda de conducţie şi, respectiv, W_{Fv} în banda de valenţă. Acesta este cazul unui aşa-numit *semiconductor extrinsec degenerat*.

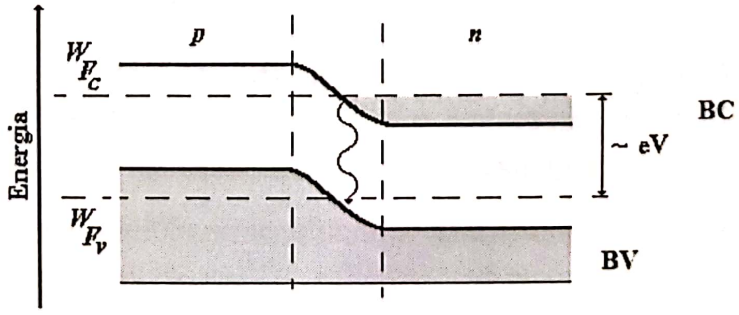


Figura 5. Benzile energetice pentru joncţiunea *p-n* polarizată direct.

Scanned with OKEN Scanner

Excitarea prin injecţie. Utilizarea joncţiunilor *p-n* pentru crearea inversiei de populaţie în urma *excitării prin injecţie* constituie metoda cea mai răspândită pentru fabricarea diodelor laser. Dacă joncţiunea este polarizată direct, electronii sunt injectaţi în zona de tip *p* a dispozitivului, iar golurile în zona de tip *n*, creându-se un exces de purtători peste valoarea de echilibru, care determină inversia de populaţie necesară emisiei stimulate.

Absorbţia de radiaţie electromagnetică (fig. 6) într-un astfel de semiconductor are loc la tranziţia unui electron de la un nivel energetic W_1 din banda de valenţă la un nivel W_2 din banda de conducţie, sub influenţa radiaţiei.

În mod analog, emisia stimulată de radiaţie electromagnetică (fig. 6) poate avea loc, pentru respectarea legii conservării energiei, la o tranziţie inversă a electronului între aceleaşi două nivele. În cazul modelului prezentat mai sus împrăştierile purtătorilor în interiorul benzilor implicate au loc mai rapid în comparaţie cu procesele de recombinare bandă-bandă, stările din interiorul benzilor putând fi considerate la echilibru.

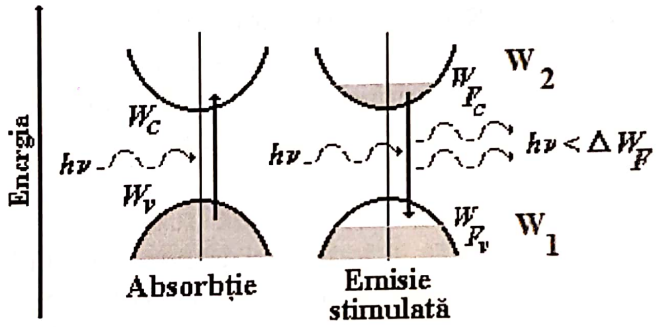


Figura 6. Procesele de absorbţie şi emisie stimulată în cazul unui semiconductor cu bandă interzisă directă.

Întrucât $h\nu = W_2 - W_1$ este expresia cuantei de energie electromagnetică emisă prin această tranziţie (unde este frecvenţa radiaţiei), atunci condiţia de obţinere a regimului de emisie stimulată într-un semiconductor degenerat, la interacţia cu radiaţia electromagnetică, se poate scrie sub forma [7,11,12]:

$$\Delta W = W_{Fc} - W_{Fv} \geq h\nu \tag{1.36}$$

Realizarea practică a inversiei de populaţie în semiconductori. O configuraţie practică pentru obţinerea inversiei de populaţie într-un mediu activ semiconductor este aceea a unei diode cu joncţiune *p-n* în care regiunile *p* şi *n* sunt obţinute prin doparea până la degenerare a aceluiaşi cristal semiconductor. Cvasinivelul Fermi al materialului de tip *p* se află în bande de valenţă, iar acela al materialului de tip *n* în banda de conducţie. În absenţa unei diferenţe de potenţial electric la bornele diodei, cele două cvasi-nivele Fermi coincid (condiţia de echilibru termodinamic). La aplicarea unei diferenţe de potenţial *V*, acestea se separă printr-un interval energetic *eV* (unde *e* este sarcina electrică elementară). În zona de sarcină spaţială a joncţiunii se produce o inversie de populaţie între electroni şi goluri.

Scanned with OKEN Scanner

Acest fenomen face posibilă amplificarea radiaţiei prin emisie stimulată, la recombinarea radiativă dintre un electron şi un gol.

Indicele de refracţie al majorităţii materialelor semiconductoare, pentru lungimile de undă ale emisiei acestora, este suficient de mare astfel încât, la interfaţa semiconductor/aer, coeficientul de reflexie pentru radiaţia emisă să aibă valori ridicate pentru a determina formarea unei cavităţi Fabry-Pérot pe feţele cristalului perpendiculare pe direcţia emisiei. În multe tipuri de *diode laser* de mică putere, nu este necesară nici şlefuirea sau depunerea de straturi reflectoare pe capetele mediului activ, întrucât clivajul cristalului după planuri atomice determină feţe cu suprafeţe foarte netede.

1.7. REZONATORI OPTICI

Pentru micşorarea pierderilor mediul activ se plasează într-o *cavitate optică rezonantă* (*rezonator laser*) care este o structură deschisă formată din două oglinzi cu reflectivităţi mari aşezate la distanţă mare una faţă de alta. Cavităţile optice utilizate la fabricarea laserelor au dimensiunile mult mai mari în comparaţie cu lungimea de undă a radiaţiei electromagnetice din cavitate.

Cavitatea se numeşte *pasivă* în absenţa mediului activ şi *activă* în prezenţa acestuia. Radiaţia electromagnetică din cavitate rezultă în urma proceselor de dezexcitare spontană sau stimulată suferite de atomii, moleculele, ionii etc. care constituie mediul activ, care se manifestă astfel ca o sursă de energie [4–7,11].

Moduri de oscilaţie. O cavitate optică rezonantă poate suporta atât *moduri longitudinale* cât şi *transversale*. Modurile de oscilaţie reprezintă configuraţii stabile ale câmpului electromagnetic din cavitate.

Specificarea modurilor de oscilaţie care sunt transversal electromagnetice se face cu ajutorul notaţiei $TEM_{r\,s\,q}$, unde indicele q se referă la modurile longitudinale indicând numărul de noduri pentru undele staţionare formate în lungul axei rezonatorului, iar indicii r, s se referă la modurile transversale, aceştia indicând numărul de noduri (schimbări de fază) ale câmpului electric pe oglindă după două direcţii reciproc perpendiculare şi perpendiculare pe axa rezonatorului.

În cazul unui rezonator laser de lungime L (fig. 7), frecvenţele, ν_q corespunzătoare diferitelor moduri de oscilaţie longitudinale sunt determinate de condiţia:

$$L = q\left(\lambda_q / 2\right) \tag{1.37}$$

de unde rezultă:

$$\nu_q = \frac{q \cdot c}{2L} \tag{1.38}$$

unde c este viteza luminii în vid.

Scanned with OKEN Scanner

În domeniul vizibil al spectrului radiaţiilor electromagnetice numărul de moduri pentru undele staţionare formate de-a lungul axei rezonatorului este de ordinul $10^4 \div 10^7$. Fiecărui mod de oscilaţie transversal îi corespund mai multe moduri longitudinale. Modurile longitudinale diferă unul faţă de altul numai prin frecvenţa de oscilaţie, pe când cele transversale se deosebesc atât prin frecvenţa de oscilaţie cât şi prin distribuţia câmpului într-un plan pe axa rezonatorului.

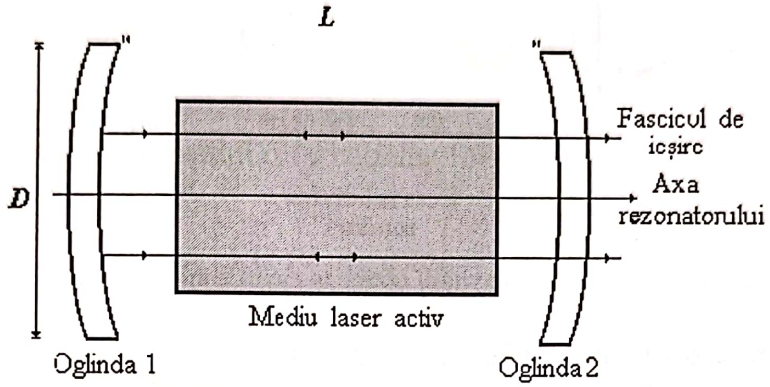


Figura 7. Cavitatea optică activă.

În urma procesului de emisie stimulată mediul activ furnizează energie acelor moduri ale cavităţii (ω_c) pentru care este îndeplinită condiţia de prag, adică pentru care câştigul liniei spectrale emise (cu pulsaţia centrală Ω) depăşeşte pierderile, iar laserul începe să oscileze pe aceste moduri, între care se manifestă procese competitive (fig. 8).

Transmitanţa cavităţii, T (fig. 9) este dată de relaţia [4–7]:

$$T = \frac{(1-R_1)(1-R_2)}{\left[1-(R_1R_2)^{\frac{1}{2}}\right]^2 + 4R_1R_2\sin^2\left(\frac{\omega}{c}L\right)} \qquad (1.39)$$

unde $R_{1,2}$ sunt reflectivităţile oglinzilor.

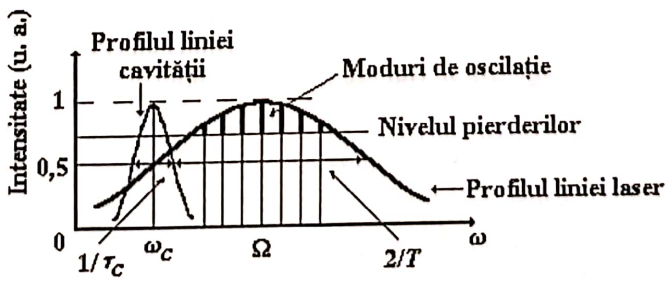


Figura 8. Profilurile modurilor cavităţii şi a liniei laser.

Scanned with OKEN Scanner

La rezonanţă, ($R_1 = R_2$, $T = 1$) puterea transmisă de cavitate este maximă.

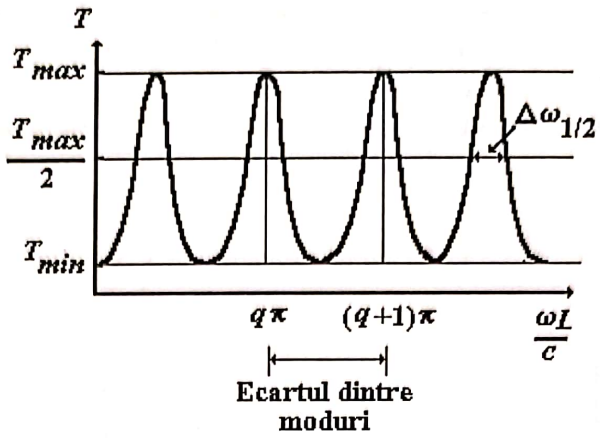


Figura 9. Transmisia cavităţii optice în cazul unui mediu ideal.

Întrucât în cazul rezonatorilor laser reflectivităţile oglinzilor au valori mari, (pentru ca puterea incidentă să fie egală cu cea emergentă) în cavitate se stochează energia de la sursă, ca urmare a proceselor de reflexie multiplă.

Caracteristicile rezonatorilor laser. *Selectivitatea cavităţii* poate fi caracterizată de *factorul de calitate* al acesteia, definit de relaţiile:

$$Q = \omega_0 \frac{\text{energia stocată la rezonanţă}}{\text{pierderea de putere medie}} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{1/2}} \tag{1.40}$$

unde ω_0 reprezintă pulsaţia la rezonanţă, iar $\Delta\omega_{1/2}$ caracterizează lărgimea benzii definită la semiînălţime (fig. 8).

Ţinând seama de relaţia (1.39), rezultă:

$$\Delta\omega_{1/2} = \frac{c}{2L} \frac{1-(R_1R_2)^{\frac{1}{2}}}{\pi(R_1R_2)^{\frac{1}{4}}} \tag{1.41}$$

unde $\frac{c}{2L}$ reprezintă ecartul dintre moduri, iar

$$Q = \frac{2\pi L}{\lambda_0} \frac{(R_1R_2)^{\frac{1}{4}}}{1-(R_1R_2)^{\frac{1}{2}}} \tag{1.42}$$

Finețea cavităţii este definită de relaţia:

$$F = \frac{c}{2L} \frac{1}{\Delta\omega_{1/2}} \tag{1.43}$$

Scanned with OKEN Scanner

În domeniul optic al spectrului radiaţiilor electromagnetice $\Delta\omega_{1/2} \approx 10^2$ kHz, $Q = 10^8 \div 10^9$, iar $F \approx 10^2$.

Timpul de viaţă al fotonilor din cavitate, τ_c poate fi calculat ţinând seama că pentru un parcurs dus-întors prin cavitate numărul de fotoni, n scade la valoarea nR_1R_2, iar

$$\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = -\frac{c}{2L}(1 - R_1R_2)n \tag{1.44}$$

În urma integrării ecuaţiei diferenţiale (1.44), rezultă:

$$n(t) = n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_c}\right) \tag{1.45}$$

unde n_0 reprezintă numărul iniţial de fotoni, iar

$$\tau_c = \frac{2L}{c(1 - R_1R_2)} \tag{1.46}$$

este timpul de viaţă al fotonilor din cavitate.

Din (1.42) şi (1.46) rezultă că relaţia dintre timpul de viaţă şi factorul de calitate al cavităţii este:

$$\tau_c = Q/\omega_0 \text{ sau } \Delta\omega_{1/2} \cdot \tau_c = 1 \tag{1.47}$$

Distribuţia modală a câmpului într-un rezonator optic. Pentru a calcula *distribuţia modală a câmpului într-un rezonator optic* se consideră o cavitate optică pasivă formată din două oglinzi sferice având raza de curbură $\mathcal{R}$, pătrate, de latură $2a$, situate la distanţa $L >> \lambda$, λ fiind lungimea de undă a undelor electromagnetice din cavitate (fig. 9).

Întrucât rezolvarea ecuaţiilor Maxwell în cazul unei cavităţi optice cu condiţiile la limită corespunzătoare implică dificultăţi serioase din cauza numărului mare de moduri de oscilaţie a fost dezvoltată o aşa-numită teorie electromagnetică care se bazează pe principiul Huygens şi integrala Kirchhoff-Fresnel din teoria scalară a difracţiei. Pe baza acestei teorii se pot calcula distribuţia câmpului optic în interiorul şi în exteriorul cavităţii, condiţia generală de rezonanţă şi factorul de calitate al modurilor de oscilaţie [4–7].

Se presupune că în interiorul cavităţii câmpul este transversal şi liniar polarizat după direcţia y. Întrucât pierderile sunt mici câmpul suferă reflexii multiple pe cele două oglinzi. Considerând că în cazul regimului staţionar câmpul aceluiaşi mod de oscilaţie se reproduce peste cele două oglinzi în urma reflexiilor

Scanned with OKEN Scanner

multiple, succesive în punctele $P(x,y)$ al oglinzii 1 şi $P'(x',y')$ de pe oglinda 2 şi poate fi scris sub forma (fig. 10):

$$E(x,y)=\sigma_r\sigma_s f_r(x)g_s(y)E_0 \tag{1.48}$$

unde σ_r şi σ_s determină schimbările de fază şi amplitudine după direcţiile x şi y pe care le suferă câmpul în urma reflexiilor succesive, $f_r(x)$ şi $g_s(y)$ determină variaţiile câmpului peste apertura oglinzilor considerate ca fiind formate din benzi (*infinite strip*) paralele cu direcţiile x şi y, iar E_0 este o amplitudine constantă.

Ţinând seama de modelele teoretice prezentate în lucrările [4–7] distribuţia câmpului pe oglinzi este dată de produsul dintre funcţia de tip Gauss, $\exp\left(-\pi\frac{x^2+y^2}{\mathcal{R}\lambda}\right)$ şi respectiv polinoamele de tip Hermite, H_r corespunzătoare, iar

$$f_r(x)=\text{constant}.H_r\left(x\sqrt{2\pi/\mathcal{R}\lambda}\right)\exp\left(-\frac{\pi x^2}{\mathcal{R}\lambda}\right) \tag{1.49}$$

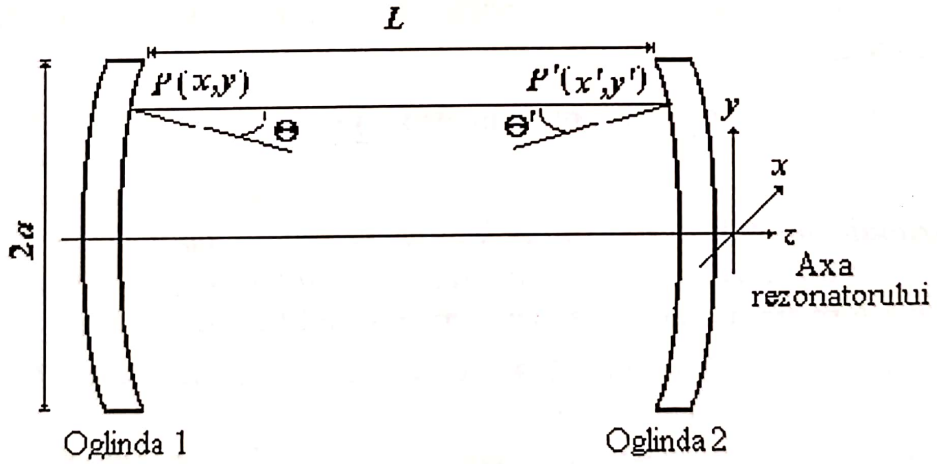


Figura 10. Cavitate optică pasivă.

Din punct de vedere calitativ în figura 11 a), b) şi c) este prezentată dependenţa de distanţă a funcţiei $f_r(x)$ şi distribuţia spaţială a intensităţii pe suprafaţa oglinzii pentru modurile de oscilaţie TEM $_{00q}$, TEM $_{10q}$ şi respectiv TEM $_{20q}$ în cazul unui rezonator cu oglinzi pătrate.

Scanned with OKEN Scanner

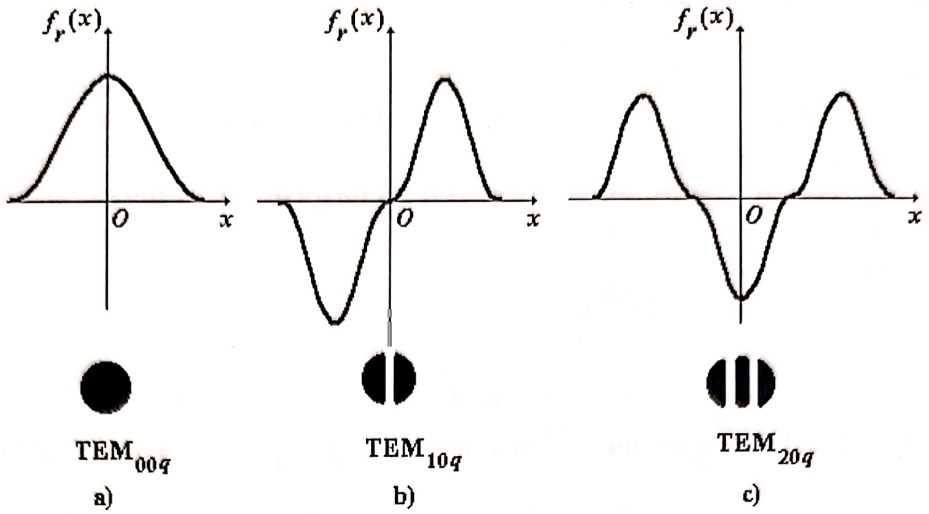


Figura 11 a), b), c). Dependenţa de distanţă a funcţiei $f_r(x)$ şi distribuţia spaţială a intensităţii pe suprafaţa unei oglinzi pătrate pentru modurile de oscilaţie: a) TEM $_{00q}$, b) TEM $_{10q}$ şi respectiv c) TEM $_{20q}$.

Stabilitatea rezonatorilor optici. În cazul unei cavităţi cu oglinzi concave având razele de curbură $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2$ şi aflate la distanţa L pe baza modelelor teoretice prezentate în lucrările [4–7] *condiţia de stabilitate* a rezonatorului optic se scrie sub forma:

$$(1-L/\mathcal{R}_1)(1-L/\mathcal{R}_2)\leq 1 \text{ sau } 0\leq g_1\cdot g_2\leq 1 \qquad (1.50)$$

Într-un sistem de axe g_1, g_2 în cazul unei cavităţi cu oglinzi concave având razele de curbură $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2$ zona cuprinsă între arcele de hiperbolă echilateră şi axe corespunde unor geometrii de cavităţi stabile, aceasta definind *diagrama de stabilitate* (fig. 12).

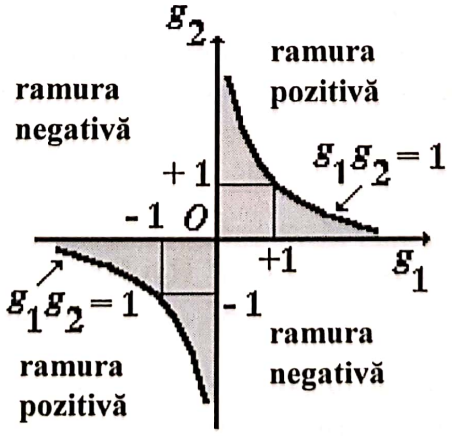


Figura 12. Diagrama de stabilitate.

Scanned with OKEN Scanner

Tipuri de rezonatori. Rezonatorii optici utilizaţi în fabricarea laserelor trebuie să aibă un factor de calitate, Q cât mai mare pentru ca pragul de oscilaţie să fie cât mai coborât, selectivitate ridicată a modurilor (aceasta determinând monocromaticitatea liniei laser emise), volum optim al modurilor, (acesta determinând dimensiunile mediului activ care participă la amplificarea radiaţiei laser emise), cuplaj optim al radiaţiei cu exteriorul în vederea obţinerii unei eficienţe cât mai ridicate a dispozitivului etc. Câteva tipuri mai importante de rezonatori optici cu oglinzi sferice sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Tipuri importante de rezonatori optici cu oglinzi sferice

Nr. crt.	Tipul rezonatorului	Razele oglinzilor	Distanţa dintre oglinzi
1	Confocal	$\mathcal{R}$	$\mathcal{R}$
2	Plan-paralel	∞	L (oarecare)
3	Concentric	$\mathcal{R}$	$2\mathcal{R}$
4	Nesimetric	$\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2$	$L < \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2$
5	Semiconfocal	$\mathcal{R}, \infty$	$\mathcal{R}/2$
6	Semiconcentric	$\mathcal{R}, \infty$	$\mathcal{R}$
7	Emisferic	$\mathcal{R}, \infty$	$\mathcal{R}$

În figura 13 este prezentată diagrama de stabilitate pentru diferite configuraţii de rezonatori cu oglinzi sferice. Rezonatorii cu oglinzi sferice sunt *stabili* dacă fasciculul reflectat de oglinzi este focalizat periodic, (rezonatorii din figura 13 notaţi cu 1 şi 2), *instabili* dacă în urma reflexiilor repetate fasciculul se lărgeşte (rezonatorii din figura 13 notaţi cu 3, 5, 6, 7, 8 şi 9) şi *de graniţă* [rezonatorii din figura 13 notaţi cu 4, (concentric), 10, (confocal) şi 11, (Fabry-Pérot)].

Rezonatorul confocal are pentru anumite dimensiuni cele mai mici pierderi prin difracţie. De asemenea, raportul dintre pierderile prin difracţie ale modurilor de ordin superior şi pierderile prin difracţie ale modului fundamental este mult mai mare decât la ceilalţi rezonatori, acest fapt fiind important de considerat, când se doreşte funcţionarea pe un singur mod.

În plus, rezonatorul confocal în comparaţie cu alţi rezonatori este mai puţin sensibil la neregularităţile elementelor optice, acest fapt determinând uşurinţa în alinierea oglinzilor.

1.8. PROPRIETĂŢILE RADIAŢIEI LASER

În comparaţie cu radiaţiile emise de Soare sau de lămpile fluorescente, radiaţiile laser sunt mult diferite prin: *strălucire*, *direcţionalitate*, *coerenţă*, *focalizare cvasipunctuală*, *monocromaticitate*, *statistica fotonilor* şi posibilitatea de obţinere a *pulsurilor ultrascurte* [1,4]–[4–7,13].

Scanned with OKEN Scanner

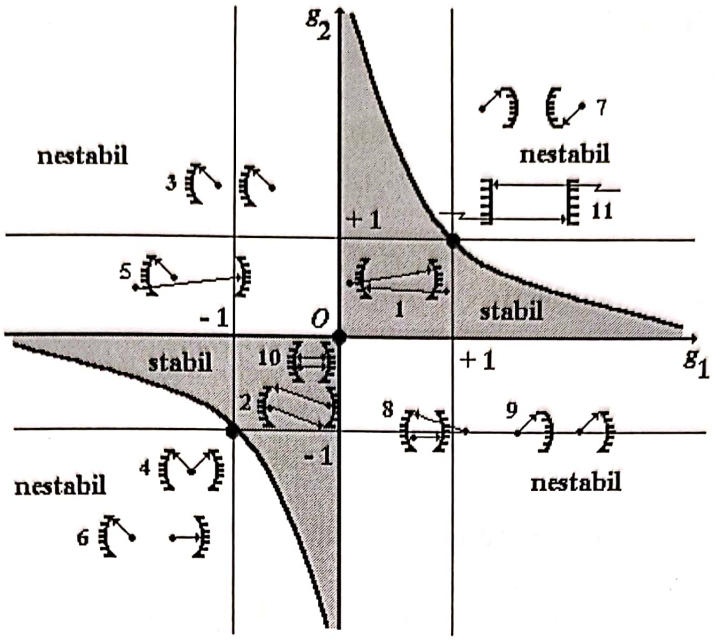


Figura 13. Diagrama de stabilitate în cazul rezonatorilor cu oglinzi sferice.

Strălucirea. Ţinând seama că strălucirea (radianţa) sursei, B este definită ca puterea emisă, P pe unitatea de arie şi pe unitatea de unghi solid

$$\Omega = \pi\theta^2 = \frac{\lambda^2}{\pi w_0^2} \tag{1.51}$$

în cazul fasciculului gaussian (fig. 14), se obţine în final relaţia:

$$B = \frac{2P}{\lambda^2} \tag{1.52}$$

unde λ este lungimea de undă, iar θ este *unghiului de divergenţă*. Strălucirea unei surse nu este modificată de sistemele optice pasive (lentile, plăci etc.).

În figura 14 mărimea

$$w_0 = \left(\frac{2z_0}{k}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{1.53}$$

corespunde valorii lui r pentru care amplitudinea câmpului se reduce la $1/e$ din valoarea pe axă şi se numeşte *lărgimea fasciculului* sau *raza fasciculului*, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ fiind constanta de propagare în mediu, iar mărimea z_0 corespunde unei secţiuni transversale egale cu $\sqrt{2}w_0$.

Scanned with OKEN Scanner

Lărgimea fasciculului cu distanţa z se poate exprima cu ajutorul *unghiului de divergenţă*, θ definit cu ajutorul relaţiei:

$$\theta = 2\frac{dw}{dz} = \frac{2\lambda}{\pi w_0} \tag{1.54}$$

Domeniul optic al spectrului radiaţiilor electromagnetice cuprinde toate radiaţiile care pot fi manipulate cu mijloace optice: lentile, oglinzi, prisme, reţele de difracţie, lame etc. şi se întinde între aproximativ 100 $\overset{o}{A}$ (razele X moi) şi 1 mm (radar), fiind împărţit în: UV vid, exclusiv pentru gaze şi vapori (100 $\overset{o}{A} \div$ 1150 $\overset{o}{A}$), UV şi pentru materia condensată (1150 $\overset{o}{A} \div 1850\ \overset{o}{A}$), UV (1850 $\overset{o}{A} \div 4000\ \overset{o}{A}$), vizibil (4000 $\overset{o}{A} \div 7500\ \overset{o}{A}$), IR apropiat (0,7 $\mu m \div 3\ \mu m$), IR (3 $\mu m \div 50\ \mu m$), IR îndepărtat (50 $\mu m \div 1000\ \mu m$).

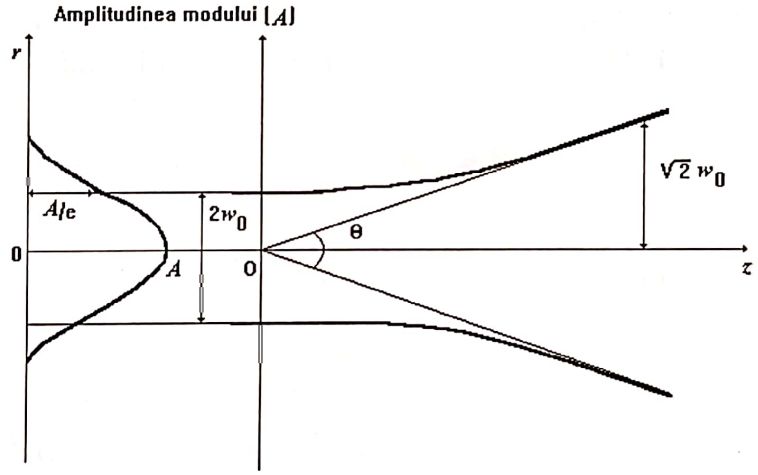


Figura 14. Parametrii fasciculelor gaussiene.

Considerând Soarele ca un corp negru la temperatura $T = 10^3$ K care emite în domeniul lungimilor de undă $10^3\ \overset{o}{A} \div 1\,cm$ intensitatea totală a radiaţiei este $I_{total} \approx 6{,}4 \cdot 10^7\ W \cdot m^{-2}$, iar strălucirea la suprafaţă $B \approx 1{,}3 \cdot 10^6\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$. În cazul unui laser cu He-Ne având puterea $P = 1\,mW$ şi o dimensiune a spotului fasciculului gaussian $w_0 = 1\,mm$, care funcţionează la lungimea de undă $\lambda = 6328\overset{o}{A}$, intensitatea maximă, I_{max} la talia fasciculului poate fi scrisă sub forma:

Scanned with OKEN Scanner

$$I_{max} = \frac{2P}{\pi w_0^2} \tag{1.55}$$

unde P este puterea radiaţiei, $I_{max} \approx 6{,}4 \cdot 10^2 \ \mathrm{Wm^{-2}}$, iar strălucirea $B \approx 5 \cdot 10^9 \ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$. Valori mult mai mari ale strălucirii se obţin în cazul laserelor cu rubin care funcţionează în regim *Q-switched*, $B \approx 10^{16} \ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$, respectiv cel cu sticlă dopată cu Nd care emite la lungimea de undă $\lambda = 1{,}06 \ \mu\mathrm{m}$ şi are puterea de $3 \cdot 10^{14} \ \mathrm{W}$, $B \approx 5{,}34 \cdot 10^{26} \ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$.

O lampă cu mercur la presiune superînaltă are în domeniul vizibil al spectrului o luminanţă de $1{,}4 \cdot 10^9 \ \mathrm{cd \cdot m^{-2}}$, iar strălucirea $B \approx 2{,}5 \cdot 10^6 \ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$.

Direcţionalitatea. O altă caracteristică a fasciculului laser este direcţionalitatea care este determinată de *unghiul de divergenţă* (fig. 14).

Prin analogie cu w_0 se defineşte *dimensiunea fasciculului* la distanta z prin expresia:

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{1.56}$$

Amplitudinea câmpului într-un punct se reduce atât datorită dependenţei de r cât şi datorită divergenţei fasciculului.

Se poate arăta că divergenţa mică a fasciculului laser permite obţinerea unor intensităţi foarte mari în urma focalizării. Un laser cu He-Ne având puterea $P = 1 \ \mathrm{mW}$ şi o dimensiune a spotului fasciculului gaussian $w_0 = 1 \ \mathrm{mm}$, care funcţionează la lungimea de undă $\lambda = 6328 \ \mathring{\mathrm{A}}$ are unghiul de divergenţă este $\theta = 2 \cdot 10^{-4} \ \mathrm{rad}$, iar unghiul solid $\Omega = 1{,}3 \cdot 10^{-7} \ \mathrm{sr}$. În cazul laserelor cu rubin şi cel cu sticlă dopată cu Nd care emite la lungimea de undă $\lambda = 1{,}06 \ \mu\mathrm{m}$ se obţin valorile: $\theta = (1 \div 10) \cdot 10^{-3} \ \mathrm{rad}$, iar unghiul solid $\Omega = (3 \div 300) \cdot 10^{-6} \ \mathrm{sr}$, respectiv $\theta = (0{,}5 \div 10) \cdot 10^{-3} \ \mathrm{rad}$ şi $\Omega = (1 \div 300) \cdot 10^{-6} \ \mathrm{sr}$.

Coerenţa. *Coerenţa* reprezintă proprietatea undelor de a avea aceeaşi lungime de undă şi o diferenţă de fază constantă în timp şi bine determinată. În cazul suprapunerii undelor coerente se obţine fenomenul de *interferenţă staţionară.*

Scanned with OKEN Scanner

În optica clasică, prin coerenţă se înţelege corelaţia parametrilor câmpului undei luminoase (faza şi frecvenţa), consideraţi în diferite puncte ale spaţiului, pe acelaşi front de undă (*coerenţă spaţială*) sau în diferite momente de timp (*coerenţă temporală*). Coerenţa spaţială şi cea temporală sunt proprietăţi independente [4–7].

Coerenţa spaţială determină focalizarea precisă a fasciculului laser, având diametrul de câţiva microni, (*focalizarea cvasipunctuală*), permiţând, de exemplu cauterizarea unei părţi foarte mici a ţesutului patologic şi o invazie minimă în ţesutul normal înconjurător, iar coerenţa temporală determină selectarea unor lungimi de undă, (*moncromatice*) într-un singur laser sau într-un grup de lasere astfel încât acestea să fie absorbite preferenţial în locurile unde se află ţesuturile supuse tratamentului.

Coerenţa spaţială este determinată de proprietăţile transversale ale undelor electromagnetice. Noţiunea de coerenţă spaţială caracterizează şi sursele luminoase. Din punct de vedere al proprietăţilor spaţiale radiaţiile emise de sursele clasice sunt net inferioare celor laser. Astfel, din punct de vedere al *concentraţiei energiei* pe o suprafaţă ($1\mu^2$) limitată de difracţie în cazul surselor clasice aceasta poate avea loc pe un cerc cu diametrul de ordinul lungimii de undă λ dar conţine foarte puţină energie, iar în cazul laserelor pentru aceeaşi operaţie toată energia este concentrată pe suprafaţa cercului. În cazul surselor clasice *concentraţia unghiulară* a radiaţiei ($1\mu rad$) este limitată de defectele lentilelor, iar energia este foarte puţină în unda cvasiplană obţinută. Aceeaşi operaţie în cazul radiaţiei laser este limitată de diametrul componentelor optice utilizate şi toată energia este concentrată în unda cvasiplană obţinută.

Dacă radiaţia emisă la un moment dat de un punct al sursei poate interfera cu radiaţia emisă la un moment ulterior de acelaşi punct al sursei, cele două radiaţii sunt coerente temporal, mărimea intervalului de timp caracterizând *coerenţa temporală* a sursei.

Este convenabil să se definească:

$$\tau_{\text{coerenţă}} = \frac{1}{2\pi\delta\nu} = \frac{1}{2\pi\nu}\left(\frac{\nu}{\delta\nu}\right) \tag{1.57}$$

ca *timp de coerenţă al radiaţiei monocromatice*, distanţa $c\cdot\tau_{\text{coerenţă}} = l_{\text{coerenţă}}$ reprezentând *lungimea de coerenţă*.

Radiaţia emisă de o sursă cvasimonocromatică având lărgimea de bandă $\delta\nu$ este coerentă spaţial într-un domeniu numnit *volum de coerenţă*:

$$V_{\text{coerenţă}} = S_{\text{coerenţă}}\left(c\cdot\tau_{\text{coerenţă}}\right) \approx\approx d^2_{\text{coerenţă}}\left(c\cdot\tau_{\text{coerenţă}}\right) \approx \frac{c\lambda^2R^2}{S\cdot\delta\nu} \tag{1.58}$$

unde

$$d_{\text{coerenţă}} = \frac{\lambda R}{2\pi\rho} \tag{1.59}$$

Scanned with OKEN Scanner

este *diametrul de coerenţă*, $S \approx \rho^2$ reprezintă *aria sursei*, iar $\tau_{\text{coerenţă}}$ este *timpul de coerenţă* al radiaţiei monocromatice.

Numărul de fotoni care traversează aria de coerenţă în timpul de coerenţă este caracterizat de *factorul de degenerare fotonic* sau *parametru de degenerare*, definit de relaţia:

$$\delta_\nu = F_\nu \cdot S_{\text{coerenţă}} \cdot \tau_{\text{coerenţă}} \tag{1.60}$$

unde F_ν este *fluxul de fotoni*, (numărul de fotoni care traversează unitatea de arie în unitatea de timp). Factorul de degenerare fotonic reprezint numărul mediu de fotoni emişi de corpul negru într-un mod de frecvenţă ν care nu pot fi deosebiţi prin etichetările de spaţial sau temporal şi are valori cuprinse în intervalul $10^{-3} \div 10^{-2}$.

Din relaţia (1.60) rezultă în cazul unui laser monomodal care este coerent pe întreaga suprafaţă a fasciculului, S, iar coerenţa temporală este limitată de banda de frecvenţă $\delta\nu$ factorul de degenerare fotonic poate fi exprimat funcţie de puterea laserului, P succesiv sub forma [6–7]:

$$\delta_\nu = F_\nu \cdot S_{\text{coerenţă}} \cdot \tau_{\text{coerenţă}} = \frac{I}{h\nu}\frac{S}{\delta\nu} = \frac{P}{hc}\frac{\lambda}{\delta\nu} \tag{1.61}$$

unde I este intensitatea fasciculului, iar $P = I \cdot S$.

În cazul unui laser cu He-Ne având $\lambda = 632{,}8\,\text{nm}$, puterea P=1 mW, iar lărgimea de bandă $\delta\nu = 500\,\text{Hz}$ factorul de degenerare fotonic $\delta_\nu \approx 6{,}4 \cdot 10^{12}$, valoare care este mult mai mare decât cea corespunzătoare surselor clasice a căror emisie poate fi caracterizată de legile radiaţiei corpului negru.

Monocromaticitatea. *Gradul de monocrotaticitate* fiind definit ca $\nu/\Delta\nu$ pe baza relaţiei (1.57) se poate stabili o legătură între coerenţă şi monocromaticitate. Astfel, o sursă de lumină clasică, (lampă, bec etc.) de bună calitate are lărgimea de bandă $\delta\nu = 10^8\,\text{Hz}$, timpul de coerenţă $\tau_{\text{coerenţă}} \approx 1{,}6\,\text{ns}$ [relaţia (1.45)] şi lungimea de coerenţă $l_{\text{coerenţă}} \approx 0{,}48\,\text{m}$. Un laser care funcţionează pe un singur mod de oscilaţie transversal este caracterizat de o coerenţă spaţială perfectă, iar coerenţa temporală este determinată de lărgimea de bandă a radiaţiei emise. Utilizând diferite tehnici de stabilizare s-au obţinut în cazul laserelor lărgimi de bandă $\delta\nu \approx 3 \cdot 10^2\,\text{Hz}$ şi lungimi de coerenţă $l_{\text{coerenţă}} \approx 10^9\,\text{m}$. Din punct de vedere al coerenţei temporale în tabelul 2 sunt prezentate câteva caracteristici (lungimea de undă, lărgimea benzii şi lungimea de coerenţă) corespunzătoare radiaţiilor unor surse clasice şi respectiv laser.

Este cunoscut faptul că lumina prezintă caracteristici care nu pot fi puse în evidenţă cu ochiul. de multe ori fiind necesare, chiar pentru informaţii calitative,

Scanned with OKEN Scanner

aparate optice care să prelucreze informaţia şi s-o transmită ochiului. Din punct de vedere experimental, se constată că două fascicule de lumină cu aceeaşi distribuţie a intensităţii într-un anumit domeniu de frecvenţă pot interacţiona în mod diferit cu aceleaşi elemente optice. În general, interacţiunile pot fi puse în evidenţă printr-o inegalitate a direcţiei de propagare, o modificare a spectrelor lor sau o combinaţie a acestora. Acea caracteristică a luminii la care ochiul nu este sensibil, dar pentru care există elemente optice sensibile, este cunoscută sub numele de *polarizare* (*stare de polarizare*).

Tabelul 2

Caracteristici corespunzătoare radiaţiilor unor surse clasice respectiv laser

Nr. crt.	Sursa de radiaţii	λ(nm)	Δλ(nm)	$l_{coerentă}$
1	Lampă cu filament de tungsten	500	400	0,6 μm
2	Lampă spectrală cu vapori de sodiu	500	0,1	2,5 mm
3	Laser cu argon ionizat	488	$6 \cdot 10^{-3}$	4 cm
4	Laser cu He-Ne	632,8	$4 \cdot 10^{-5}$	10 m

Există o legătură şi între *gradul de coerenţă temporală* şi *gradul de polarizare* al unei unde electromagnetice. Un fascicul de lumină emis de sursă transportă la detector atât informaţii despre sursă, cât şi despre oricare interacţiune pe care o suferă pe drumul de la sursă la detector. Informaţiile ne furnizează cunoştinţe despre condiţiile emisiei şi procesele fizice care au loc în interacţiunea cu mediul. Pentru a căpăta informaţia necesară, trebuie făcute atât măsurătorile asupra observabilelor: intensitatea radiaţiei, $I = I(\omega)$, gradul de polarizare, $P = P(\omega)$ şi numărul de undă $\vec{k} = \vec{k}(\omega)$, care caracterizează direcţia de propagare

Pentru a descrie clasic o undă electromagnetică, este necesar să se cunoască intensitatea, frecvenţa, direcţia de propagare, orientarea vibraţiilor faţă de aceeaşi axă cunoscută şi variaţiile intensităţii, frecvenţei, direcţiei de propagare şi orientării vibraţiilor faţă de aceeaşi axă cunoscută, iar pentru a specifica orientarea vibraţiilor faţă de o axă cunoscută, este necesar să se aleagă unul din vectorii intensitate câmp electric sau intensitate câmp magnetic. Pe baza experienţei elaborată de Wiener rezultă că vectorul intensitate câmp electric $\vec{E}$ joacă rolul dominant în măsurătorile optice. Caracteristicile de orientare ale acestui vector în timp şi în spaţiu sunt numite *polarizarea undei*. Fixând un punct particular al fasciculului undei prin locul geometric al vârfului vectorului electric la acel punct, se obţine o măsură a polarizării. *Planul de propagare* este planul care conţine direcţia vibraţiei şi direcţia de propagare.

Este cunoscut faptul că orice undă electromagnetică poate fi considerată ca o suprapunere de unde electromagnetice plane armonice.

Când are loc fenomenul de interferenţă, pe ecranul de observaţie se obţin franje (maxime şi minime de intensitate radiantă, provenite din suprapunerea fasciculelor de lumină. Examinându-se două franje de interferenţă vecine, una strălucitoare, a cărei intensitate în centru este I_{max} şi alta întunecată, a cărei

Scanned with OKEN Scanner

intensitate în centru este I_{min}, se poate defini *vizibilitatea* V a franjelor de interferenţă în apropierea punctului ales M prin relaţia:

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \tag{1.62}$$

Astfel, ţinând seama că gradul de polarizare al unei unde este dat de relaţia:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{I_{polarizată}}{I_{totală}} \tag{1.63}$$

rezultă

$$I_{max} = \frac{1}{2}\langle I\rangle(1+P) \text{ şi } I_{min} = \frac{1}{2}\langle I\rangle(1-P) \tag{1.64}$$

În cazul luminii polarizate rectiliniu, $P=1$, în cazul celei polarizate circular şi nepolarizate $P=0$, iar în cazul celei polarizate eliptic $P \in (0,1)$.

Din relaţiile (1.62) şi (1.64) se observă că cu cât unda este mai monocromatică caracteristicile de polarizare (gradul de polarizare) sunt mai ridicate.

Statisticile de fotoni. Radiaţia este înregistrată cu ajutorul detectorilor. Ţinând seama că un foton interferă numai cu el însuşi (P. A. M. Dirac) şi se poate presupune că fiecare foton incident ejectează câte un fotoelectron.

Datorită caracterului dual undă-corpuscul al fotonului lumina poate fi tratată ca un ansamblu de particule care sunt caracterizate de anumite distribuţii statistice, acestea putând fi obţinute în urma măsurătorilor numărului de fotoni. Astfel, lumina incidentă pe un fotodetector (de exemplu: fotomultiplicatori, diode cu avalanşă etc.) generează fotoelectroni, iar contorul numără şi înregistrează pulsurile electrice generând distribuţia statistică corespunzătoare fotonilor număraţi [4–7]. Statisticile de fotoni sunt determinate de studiile teoretice şi experimentale ale distribuţiilor statistice rezultate în urma numărării fotonilor.

Ţinând seama de proprietăţile surselor de lumină se obţin trei regimuri ale distribuţiilor statistice, de tip: 1) *Poisson*, 2) *super-Poisson* şi 3) *sub-Poisson*, acestea fiind definite de relaţia dintre *varianţă* şi *numărul mediu de fotoni* număraţi. Primele două distribuţii pot fi descrise cu o teorie semiclasică în care sursa luminoasă este modelată ca o undă electromagnetică, iar atomul este modelat cu ajutorul mecanicii cuantice, iar în cazul celei de-a treia trebuie introdusă cuantificarea câmpului pentru a descrie natura corpusculară a luminii.

Distribuţia de tip Poisson caracterizează sursele luminoase coerente, de exemplu laserele, cea de tip super-Poisson descrie sursele mai puţin coerente, de exemplu LED-urile. Sursele complet necoerente, de exemplu sursele termice, (corpul negru) sunt caracterizate de distribuţia Bose-Einstein. Deci, chiar dacă o

Scanned with OKEN Scanner

sursă laser şi una termică, au acelaşi număr mediu de fotoni $\langle n \rangle$ într-un interval de numărare acestea sunt caracterizate de statistici de fotoni complet diferite. Cele prezentate mai sus au fost confirmate şi din punct de vedere experimental, de exemplu în cazul unui laser cu He-Ne cu lungimea de undă $\lambda = 632{,}8\,\text{nm}$ atât în cazul regimului de funcţionare sub prag, când distribuţia de probabilitate este de tip Bose-Einstein, cât şi peste prag, când distribuţia de probabilitate este de tip Poisson. De asemenea, s-a observat că fluctuaţiile unui câmp termic pot fi mai mari decât cele ale unui câmp laser.

Pulsuri ultrascurte. Întrucât radiaţia laser este coerentă este posibil ca un laser care funcţionează în *regimul cuplare a modurilor* (*mode-locking*) [4–7] să emită *pulsuri ultrascurte de lumină* de $10^{-16} \div 10^{-12}$ Hz. În aceste cazuri şi puterile de vârf obţinute sunt foarte mari putând depăşi $10^{12} \div 10^{16}$ W. Pentru aceasta se pot utiliza absorbanţii saturabili.

Pulsurile ultrascurte de lumină sunt aplicate la: studiul fotoproceselor ultrarapide care se manifestă în molecule, semiconductori, sisteme biologice etc., separări izotopice cu laser, fuziunea termonucleară etc.

1.9. INGINERIA FASCICULULUI LASER

Pentru a putea fi aplicat în diferite domenii de activitate (ştiinţă, inginerie mecanică şi chimică, comunicaţii optice, biologie, medicină, metrologie, meteorologie etc.) de obicei fasciculul laser trebuie prelucrat. În cadrul procesului de *prelucrare* (*inginerie*) *a fasciculului laser* trebuie ţinut seama atât de caracteristicile acestuia înainte de tratare cât şi de cerinţele aplicaţiilor dorite [4,7,11].

Printre operaţiile cel mai des cerute de ingineria fasciculului laser se numără: *controlul secţiunii fasciculului, deflexia, modulaţia intensităţii, corecţiile de astigmatism şi optimizarea focalizării, atenuarea statică, amplificarea, separarea în subfascicule, mixarea fasciculelor, selecţia unui anumit mod, filtrajul zgomotului* etc.

Focalizarea cvasipunctuală a fasciculului laser constituie o proprietate remarcabilă a radiaţiilor laser cu largi aplicaţii în uzinajul fotonic, telecomunicaţii prin fibră optică, procesarea semnalelor etc.

Controlul secţiunii fasciculului. După emisia sa de către dispozitivul laser fasciculul laser diverge datorită *difracţiei* (care nu poate fi eliminată complet dar efectele sale pot fi controlate) şi *colimării interne* a laserului (care poate fi controlată cu ajutorul unor componente optice adiţionale).

La distanţe mai mari (de câţiva metri) relaţia (1.56) devine:

$$w(z) = w_0 kz \tag{1.65}$$

Scanned with OKEN Scanner

Sursele reale oricât ar fi de mici nu sunt punctiforme, iar fasciculul emis de acestea se lărgeşte fiind imposibil să se localizeze toate punctele sursei în planul focal al unei lentile. În practică neexistând un fascicul perfect paralel nu se poate realiza un fascicul perfect convergent la distanţă mare de sursă. Un parametru important al fasciculului real este semiunghiul de divergenţă la vârful conului definit de relaţia:

$$\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{d_s}{f_1} \tag{1.66}$$

unde d_s este diametrul sursei, iar f_1 este distanţa focală a lentilei L (fig. 15).

Ţinând seama că semiunghiul de divergenţă este mic (fig. 15), rezultă:

$$\frac{\beta}{2} = kw_0 = \frac{\lambda}{\pi w_0} \tag{1.67}$$

Considerând un laser cu He-Ne cu lungimea de undă $\lambda = 632{,}8\,\text{nm}$ deşi unghiul de divergenţă poate fi considerat mic, ($\frac{\beta}{2} = 0{,}5\,\text{mrad}$) diametrul fasciculului devine 1 m la 1 km distanţă de dispozitivul laser. În cazul comunicaţiilor optice cu lasere la distanţe mari trebuie utilizate fascicule cu divergenţe mult mai mici.

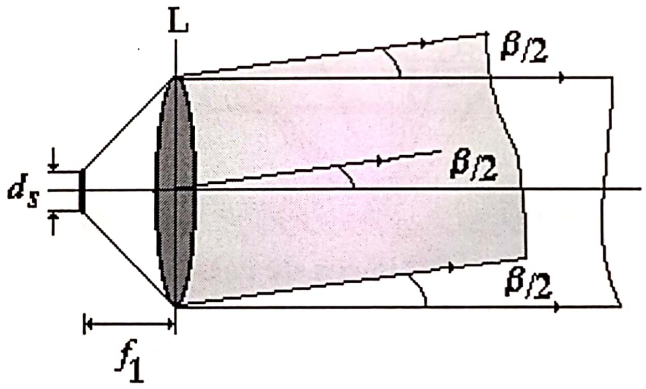


Figura 15. Semiunghiul de divergenţă al unei lentile.

Divergenţa fasciculului laser poate fi micşorată prin mărirea diametrului acestuia cu ajutorul unui sistem afocal format din două lentile, L_1 şi L_2 având distanţele focale f_1 şi f_2 montate ca în figura 16.

Deflexia. Pentru a controla direcţia fasciculului laser prin *deflexie* se utilizează mai multe efecte: mecanice, electrooptice etc.

În cazul *deflectoarelor mecanice* fasciculul laser este dirijat către o oglindă care poate fi orientată sau se află în mişcare continuă, fasciculul fiind astfel trimis în direcţia dorită.

Scanned with OKEN Scanner

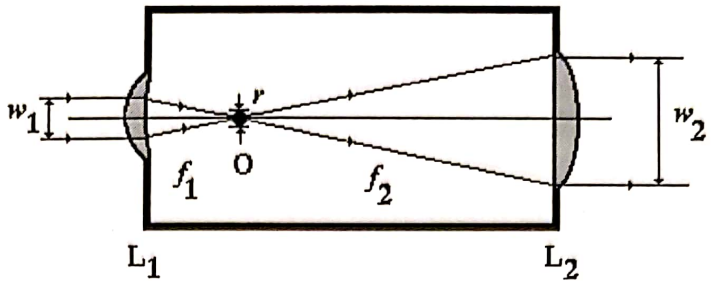


Figura 16. Sistem afocal.

Un astfel de deflector este format dintr-o oglindă care este montată pe un fir de torsiune şi funcţionează pe baza principiului galvanometrului. Câmpul magnetic exterior acţionează asupra bobinei mobile care este parcursă de un curent electric şi este ataşată firului de torsiune determinând rotaţia acestuia. În cazul când oglinda se roteşte cu unghiul α, rezultă o deflexie a fasciculului cu un unghi 2α (fig. 17).

Deflectoarele trebuie să îndeplinească anumite condiţii: de viteză, durată de viaţă, rezoluţie, fiabilitate etc. Foarte des utilizate sunt şi galvano-detectoarele în care oglinda oscilează în mod continuu, funcţionând la o frecvenţă fixă; în acest caz folosindu-se rezonanţa proprie a galvanometrului. Există şi deflectoare acustooptice, electrooptice, optooptice [6,7,14].

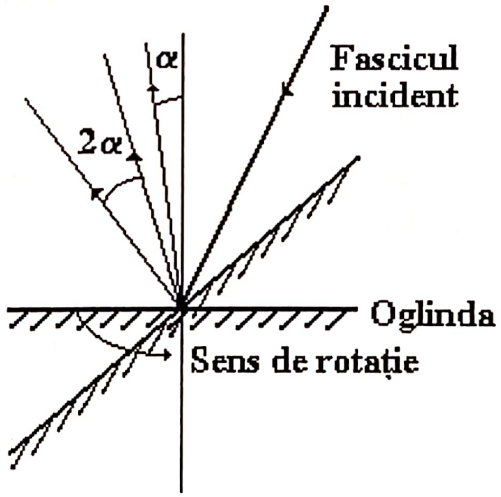


Figura 17. Oglindă deflectoare.

Modulaţia intensităţii. În afara controlului asupra formei spaţiale a fasciculului laser realizată prin operaţiile de expansiune şi deflexie a acestuia (prezentate mai sus) de multe ori este necesar controlul intensităţii fasciculului în funcţie de timp, adică *modulaţia intensităţii fasciculului*.

Modulaţia fasciculului laser rezultă în urma procesului de interacţie parametrică dintre *unda purtătoare* (*optică*) şi *unda de înaltă* (*radio*) *frecvenţă* în urma căruia se generează *unda modulată*, situată tot în domeniul optic al spectrului [4–7].

După poziţia ocupată de modulator există *modulaţie externă* (fig. 18) şi *internă* (fig. 19). În cazul modulaţiei externe fasciculul laser acţionează asupra

Scanned with OKEN Scanner

modulatorului plasat în exteriorul cavităţii optice şi cuprinde modulaţiile: *electrooptice*, *acustooptice*, *mecanice*, *magnetooptice*, *cu absorbant*, prin *efect Doppler*, *optooptică* etc., iar în cazul modulaţiei interne generarea purtătoarei optice are loc direct prin modulaţia: constantei dielectrice a mediului activ plasat în cavitatea optică, câştigului cavităţii, puterii de pompaj, prin absorbţie etc. [4–7],

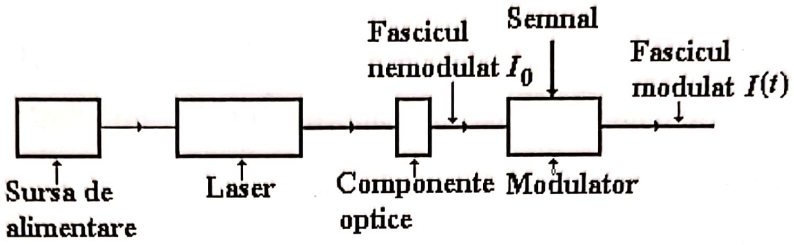


Figura 18. Schema bloc a unui modulator extern.

Modulaţia poate să fie în: amplitudine, fază, polarizaţie etc. Semnalul exterior poate fi de natură electrică, (în cazul modulaţiei electrooptice), acustică (în cazul celei acustooptice) etc.

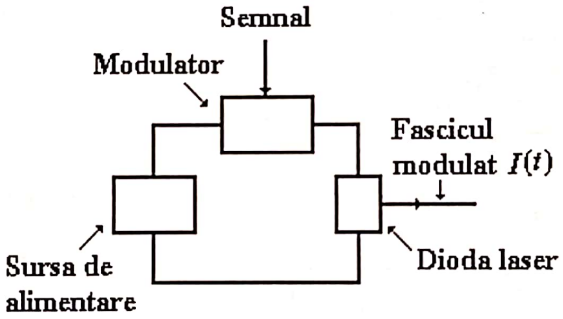


Figura 19. Schema bloc a unui modulator intern.

1.10. TIPURI DE LASERE UTILIZATE ÎN OFTAMOLOGIE

După descoperirea efectului laser au fost fabricate un număr foarte mare de surse coerente de radiaţie [14–10]. Laserele pot fi împărţite în mai multe categorii: după modul de funcţionare (în regim continuu şi în impulsuri), după natura mediului activ utilizat (lasere cu solid, lichid şi gaz), după domeniul spectral în care emit etc.

Laserele sunt utilizate şi în oftalmologie atât în tratamente cât şi în diagnosticarea diferitelor afecţiuni ale ochiului [16–18].

Laserul cu sticlă dopată cu Nd^{3+}. Diagrama nivelelor energetice ale unui laser cu Nd:sticlă este prezentată în figura 20. Tranziţia laser cea mai importantă

Scanned with OKEN Scanner

având $\lambda = 1{,}06\ \mu m$ se produce între subnivelele inferioare ale nivelelor $^4F_{3/2}$ şi $^4I_{11/2}$ (lungimea de undă de aproximativ 1,06 μm este funcţie de compoziţia sticlei). Întrucât la temperatura camerei populaţia nivelului $^4I_{11/2}$ este neglijabilă, inversia de popula]ie se realizează uşor, sistemul laser fiind tipic cu patru nivele.

Ionii de Nd^{3+} excitaţi ca urmare a absorbţiei în banda 0,5 μm ÷ 0,8 μm se relaxează cu o eficienţă cuantică ridicată pe nivelul cu viaţă lungă $^4F_{3/2}$, obţinându-se astfel inversia de populaţie în raport cu nivelul $^4I_{11/2}$. Acest tip de laser funcţionează atât în regim monomod TEM_{00}, (fundamental) cât şi multimod.

Funcţionarea laserului de tip Nd^{3+}: sticlă este analoagă cu cea a laserului Nd^{3+}: YAG. Utilizarea sticlelor ca gazde pentru realizarea mediilor laser active prezintă numeroase avantaje: posibilitatea dopării uniforme cu concentraţii variabile, dimensiuni mari, preţ redus, rezistenţă mecanică etc.

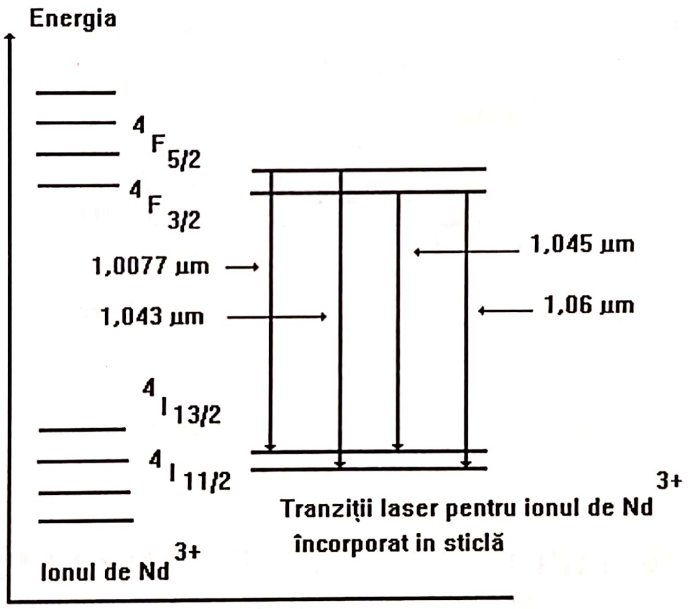


Figura 20. Diagrama nivelelor energetice ale ionului de Nd^{3+}.

Un dezavantaj al sticlelor îl constituie conductivitatea termică scăzută, ceea ce limitează rata de repetiţie a impulsurilor şi diametrele maxime ale barelor active de Nd^{3+}: sticlă. Dintre sticlele utilizate (SiBaRb, $Ba(PO_3)_2$, LaBBa, SiPbK, LaAlSi) silicaţii sunt cei mai indicaţi spre a fi utilizaţi ca gazde pentru ionii de Nd^{3+}.

Din punct de vedere constructiv, laserul Nd^{3+}: sticlă ca şi alte lasere cu solid este pompat optic. Astfel, se utilizează diferite sisteme de concentrare a excitaţiei optice furnizată de un tub flash [fig. 21 a), b)].

Scanned with OKEN Scanner

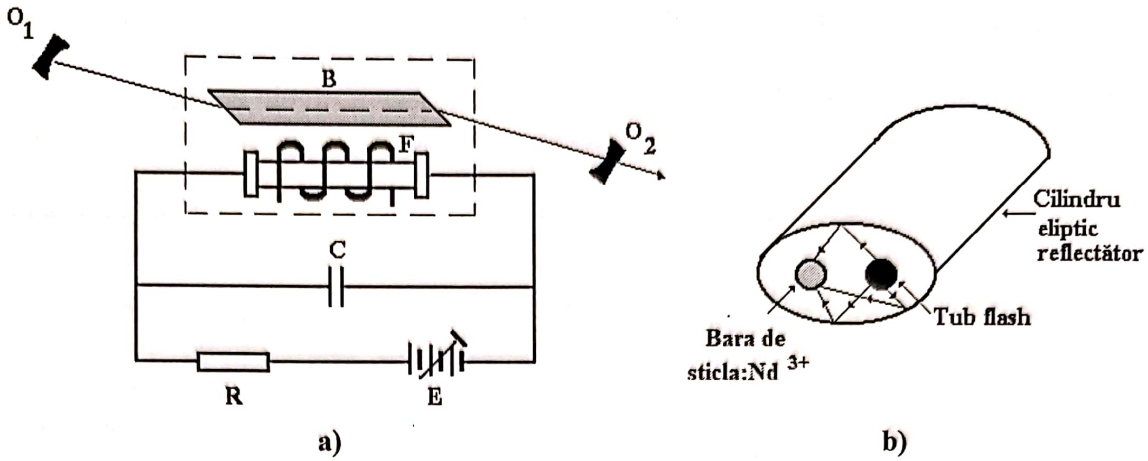


Figura 21 a), b). a) Schema de principiu a: unui laser de tip Nd^{3+}: sticlă şi b) cavităţii rezonante de forma unui cilindru eliptic.

De exemplu, o cavitate sub forma unui cilindru eliptic are în focare bara de sticlă dopată cu Nd^{3+} (B), respectiv tubul flash (F), care poate fi umplut cu Kr, Xe etc. Funcţionare laserului cu sticlă dopată cu Nd^{3+} poate avea loc fie în impulsuri (*Q-switched* sau *mode-locking*) sau în regim continuu [4–7].

Laserul cu Nd^{3+}:YAG sau cel cu sticlă dopată cu Nd^{3+}, precum şi armoonica a doua emisă de aceste lasere (532 nm) pot produce efecte fototermice, ca de exemplu fotocoagularea fi fotoevaporarea. În cazul fotocoagulării absorbţia luminii de către ţesutul ţintă determină mărirea temperaturii care determină denaturarea proteinelor. În cazul fotoevaporării în urma absorbţiei radiaţiei laser de către ţesutul ţintă este evaporată atât apa intracelulară cât şi cea extracelulară, iar vasele de sânge adiacente sunt mult mai puţin afectate, sângerările fiind minime.

Laserul cu CO_2 ***şi*** N_2. În acest caz excitarea pentru crearea inversiei de populaţie se produce pe cale termică numindu-se şi *pompaj termic*, (procese gaz-dinamice) [fig. 22 a, b)].

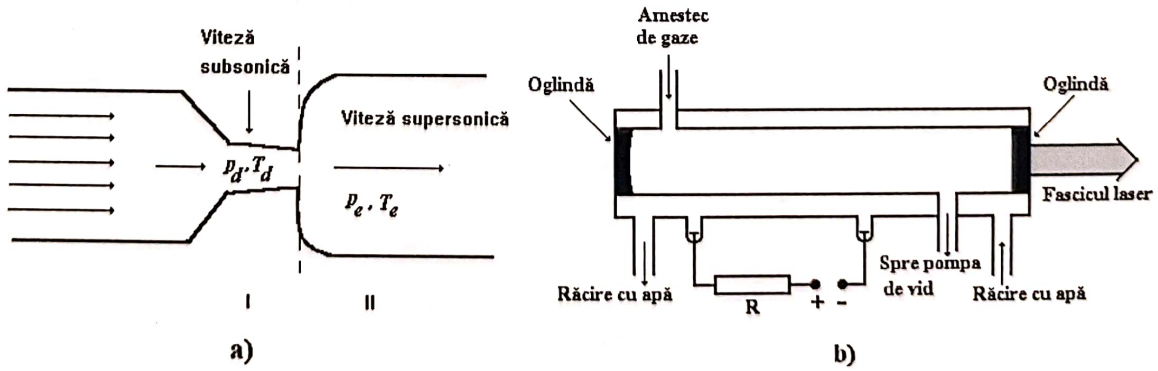


Figura 22 a), b). a) Schema excitării laserul cu CO_2 şi N_2 prin procese gaz-dinamice şi b) reprezentarea schematică a laserului cu CO_2 cu curgere de gaz longitudinală.

Scanned with OKEN Scanner

Acest tip de laser face parte din categoria laserelor moleculare. Atomii izolaţi şi ioni au nivele de energie discrete, iar moleculele prezintă benzi de energie care au o structura electronică, vibraţională şi rotaţională, fiecare nivele energetic conţinând un număr mare de nivele de vibraţie şi fiecare nivel vibraţional conţinând un număr mare de nivele de rotaţie.

Amestecul de gaz care constituie mediul laser curge printr-o conductă ce prezintă pe traseul său o duză prin care se produce o expansiune puternică a gazului. În interiorul conductei gazul este încălzit astfel că în regiunea duzei temperatura şi presiunea ating valori ridicate (T_d = 1000 K ÷ 1500 K, p_d = 10 atm ÷ 20 atm).

La ieşirea din duză parametrii gazului care suferă destinderea se modifică substanţial, obţinându-se valori scăzute ale presiunii şi temperaturii, viteza gazului crescând foarte mult (T_e = 300 K ÷ 400 K, p_e = 0,1 atm ÷ 20 atm, v_e = 2 M÷6 M). În regiunea I, 0,1 ÷ 0,2 din energie este constituită din energia de vibraţie a moleculelor, iar restul din energia de translaţie şi rotaţie a acestora.

După destindere, în regiunea II, energiile de translaţie şi rotaţie se transformă în energie cinetică, pe când energia de vibraţie rămâne practic neschimbată, deoarece timpii de relaxare vibraţională sunt mult mai mari decât cei de relaxare rotaţională.

În cazul laserului cu curgere de gaz longitudinală [fig. 22 b)] amestecul de CO_2, N_2, He circulă cu viteză redusă printr-un tub de sticlă (pyrex) cu diametrul de câţiva cm, răcit cu apă care curge printr-un alt tub de sticlă dispus coaxial cu cel de descărcare.

Amestecul de gaze din tubul de descărcare este excitat în curent continuu sau alternativ, (25 mA ÷ 150 mA), prin intermediul a doi electrozi, tensiunea fiind de 10 kV ÷ 15 kV, iar puterea radiaţiei laser la ieşire de ~150 W.

Pentru laserul cu CO_2 şi N_2 de exemplu, tranziţiile laser au loc între nivelul combinat $CO_2(00°1)$ şi $N_2 = (v = 1)$ care constituie nivelul laser superior (energia fiind acumulată în starea metastabilă a N_2) şi nivelul laser inferior constituit de nivelele $CO_2(10°0)$ şi $CO_2(02°0)$ (fig. 23). Populaţia nivelului I este cea corespunzătoare temperaturii ridicate din regiunea I datorită metastabililor de N_2. Se păstrează la valoare ridicată cam până la 1 m de duză.

Populaţia nivelului II este cea corespunzătoare temperaturii scăzute din regiunea II (se anulează la câţiva cm de duză).

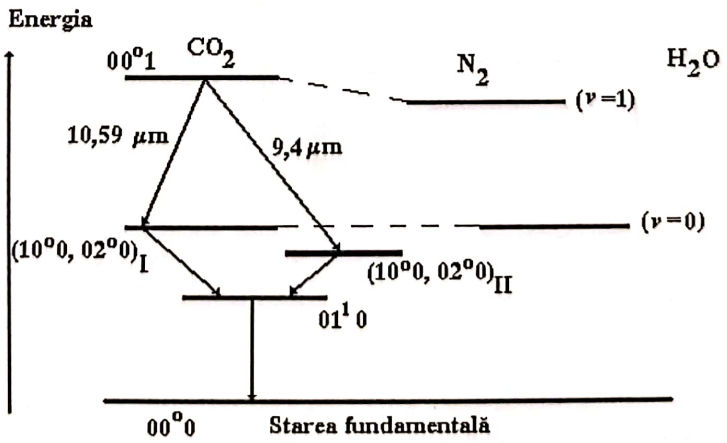


Figura 23. Schema nivelelor energetice vibraţionale (inferioare).

Scanned with OKEN Scanner

Apare astfel inversia de populaţie între nivelele I şi II care se menţine cam până la 1 m de duză. Ca urmare energia termică este convertită direct în energie laser (pompaj termic). Temperaturile ridicate din regiunea duzei se pot obţine prin încălzirea cu arc sau arderea diferitelor gaze. Lungimea de undă la care operează laserul cu CO_2 şi N_2 este de 10.600 nm şi poate fi utilizat pentru producerea efectelor fototermice, (fotocoagularea şi fotoevaporarea).

Lasere cu excimeri. Laserele cu excimeri sunt surse puternice de lumină în domeniul UV al spetrului. Excimerul este un dimer excitat printr-o descărcare electronică care se disociază imediat după relaxarea pe nivelul fundamental. Mediul activ în cazul acestor tipuri de lasere îl constituie gazele nobile, (de exemplu Xenon) sau o combinaţie de gaze nobile şi gaze reactive, floruri, cloruri, (de exemplu XeCl). Laserul cu excimeri face parte din categoria laserelor moleculare.

Inversia de populaţie în laserul cu excimeri se obţine în urma pompajului în care este folosită o descărcare electrică (fig. 24).

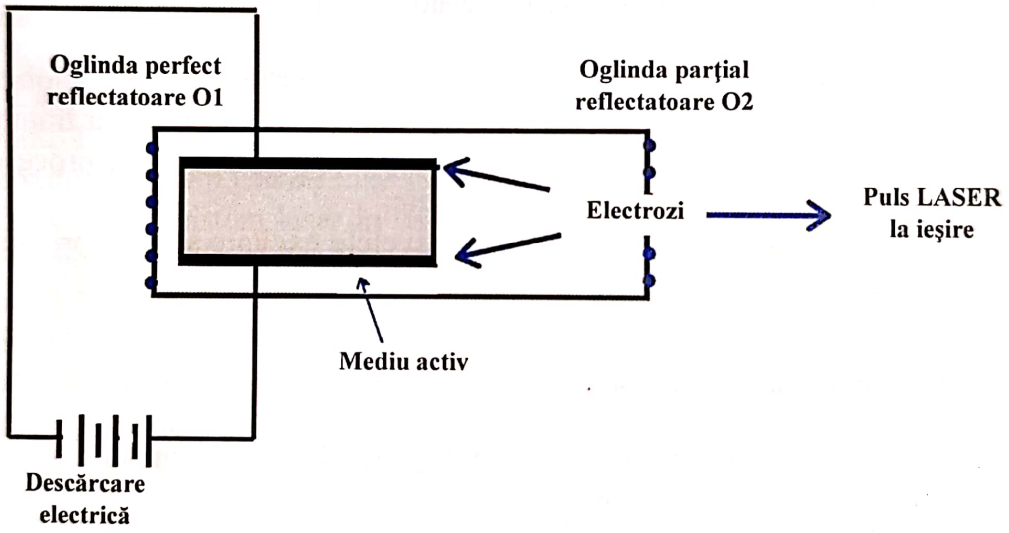


Figura 24. Reprezentarea schematică a pompajului în cazul laserelor cu excimeri.

Tensiunea electrică aplicată electrozilor din tubul de descărcare accelerează electronii. În urma excitării mixturii de gaze, (la presiune înaltă) care constituie mediul activ, prin ciocniri cu electronii, pe nivele superioare de energie sunt genereraţi excimeri care emit. Oglinda O1 este perfect reflectătoare, iar oglinda O2 este parţial reflectătoare şi permite pulsului laser să fie emis în exterior, acesta având o durată de ordinul ~ 10 ns.

Excimerul poate fi de exemplu Xe_2^* în stare excitată, care după emisia unui foton, sau relaxarea în starea fundamentală prin diferite procese (fig. 25), se disociază imediat în doi atomi de Xe, conform schemei:

$$Xe_2^* \rightarrow Xe_2 + h\nu \rightarrow Xe \rightarrow Xe. \qquad (1.68)$$

Întrucât molecula de Xe_2 se disociază foarte rapid, populaţia nivelului inferior este aproape zero şi inversia se obţine pentru populaţii de Xe_2^* relativ scăzute.

Scanned with OKEN Scanner

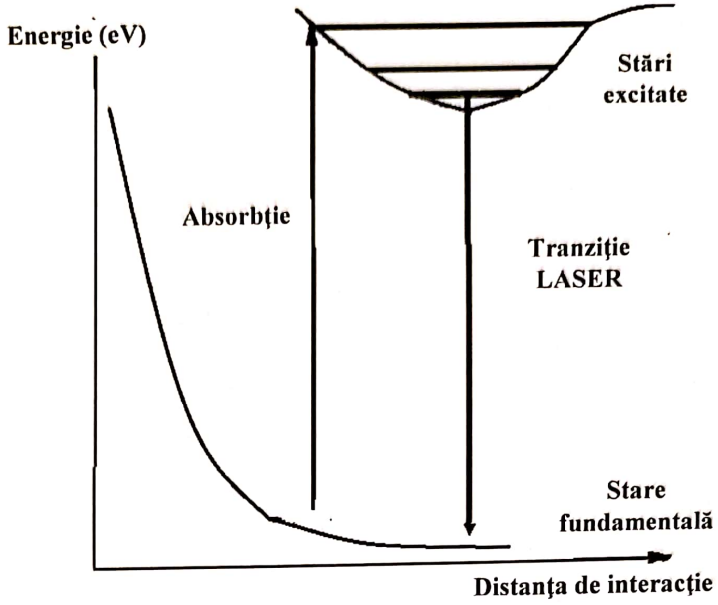


Figura 25. Reprezentarea schematică a emisiei laser în cazul excimerilor.

Radiaţia laserului cu excimeri este puternic absorbită de hemoglobina din epiteliul pigmentat din retină, acesta putând fi folosit, de exemplu la tratamentul ocluziilor venoase, De asemenea, aceste lasere pot fi utilizate şi în procesele de fotoablaţie, fotocoagulare în apropierea foveei etc.

În cazul laserului cu Ar II pompajul pe nivelele excitate se face prin ciocniri electronice în care sunt favorizate tranziţiile $p \rightarrow p$ faţă de cele $p \rightarrow s$, iar radiaţia laser rezultă în urma tranziţiilor $p \rightarrow s$, (fig. 26). Astfel, în regimul de funcţionare în undă continuă se obţine efect laser simultan pentru 11 linii spectrale cu lungimea de undă cuprinsă între $4545\,\text{Å} \div 10923\,\text{Å}$, cele mai intense având $\lambda = 4880\,\text{Å}$ (70 %) şi $\lambda = 5145\,\text{Å}$ (30 %).

Puterile emise de laserele cu Ar II sunt de 300 W în vizibil şi 30 W în UV pentru puteri ale surselor electrice de excitare de ordinul sutelor de kW. Din punct de vedere constructiv un laser cu Ar II este format dintr-un tub de descărcare (sticlă, cuarţ, ceramică) răcit cu apă, cu diametrul cuprins între $5 \div 12$ mm, care trebuie să reziste la curenţi de excitare mari ($25\,\text{A} \div 400\,\text{A}$), presiunea gazului fiind de câteva sute de torr. Radiaţia emisă de laserul cu Ar II este absorbită selectiv de retină şi coagulează ţesuturile dintre capilare şi stratul nuclear.

Alte exemple de lasere cu excimeri sunt: ArF (care emite pe lungimea de undă 193 nm), KrF (248 nm) şi XeCl (308 nm). Lungimea de undă poate fi puţin acordabilă utilizând prisme şi reţele de difracţie plasate în cavitatea rezonantă. Astfel, laserul cu Xe_2^* care emite pe lungimea de undă $\lambda = 173$ nm este acordabil într-o bandă de 5 nm, Puterea medie laserelor cu excimeri este de $1\,\text{W} \div 2\,\text{W}$. În UV, rata de repetiţie de 10 Hz, iar puterea de vârf de $10\,\text{MW} \div 15\,\text{MW}$.

Scanned with OKEN Scanner

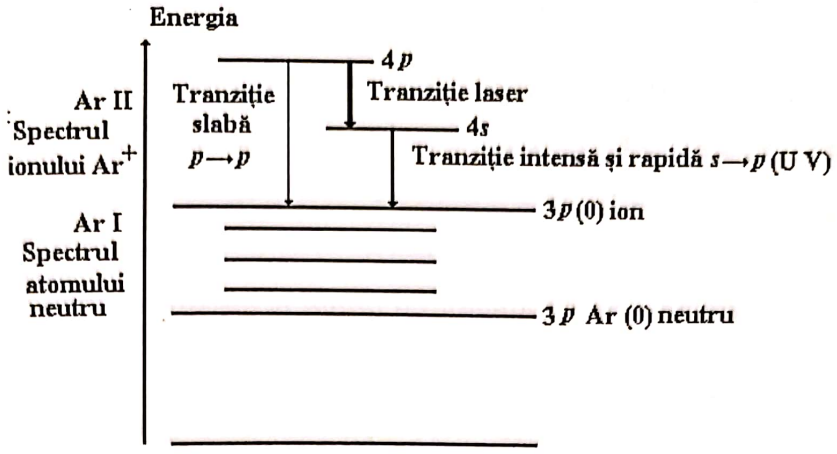


Figura 26. Diagrama nivelelor energetice în cazul laserului cu Ar II.

Comportament analog excimerilor se întâlneşte şi la unii complecşi moleculari, molecula numindu-se *exciplex*, denumire provenită de la contracţia cuvintelor ***excited complex***.

Lasere cu semiconductori. Dioda laser homojoncţiune. Radiaţia laser poate fi produsă şi în urma recombinării electronilor şi golurilor într-o joncţiune semiconductoare *p-n* (*diodă laser*) dacă câştigul depăşeşte pierderile. Diodele laser constituie unicul sistem laser în care emisia stimulată a radiaţiei electromagnetice poate fi modulată în amplitudine direct, prin modularea energiei de pompaj. Astfel, prin modularea temporală a densităţii de curent electric de injecţie, se realizează modularea temporală simultană a intensităţii radiante a undei laser.

Pentru a descrie funcţionarea unei *diode laser homojoncţiune* se consideră joncţiunea *p-n* având grosimea zonei active *d* prezentată în figura 27. În *zona activă* de lăţime *d*, numită şi *distanţa de confinare* (de aproximativ 1 μm) se produce un număr suficient de mare de electroni şi respectiv goluri pentru ca dispozitivul să aibă un câştig pozitiv. Dimensiunea zonei active este mai mică decât cea corespunzătoare modului câmpului ($D>d$).

Conform condiţiei de prag, intensitatea radiaţiei electromagnetice rezultate prin emisia stimulată trebuie să rămână neschimbată după un parcurs complet al cavităţii laser. Pe baza modelelor teoretice dezvoltate în lucrările [4–7,10–12] condiţia de prag poate fi scrisă cu ajutorul densităţii de curent, J_t la prag sub forma:

$$J_t = \frac{8\pi^2 n^2 \delta\nu_0}{\lambda^2}(eD)\frac{R_e}{A}\left(\alpha - \frac{1}{2l}\ln R_1 R_2\right) \qquad (1.69)$$

unde R_1 şi R_2 sunt reflectanţele feţelor polizate, A este rata emisiei spontane corespunzătoare recombinării radiative, L este lungimea cavităţii rezonante laser, α reprezintă pierderile pe unitatea de lungime datorită altor efecte decât reflexiile pe oglinzile cavităţii, n este indicele de refracţie, iar raportul A/R_e, se mai numeşte şi *eficienţă cuantică* şi reprezintă fracţiunea din numărul de electroni

Scanned with OKEN Scanner

injectaţi cere suferă fenomenul de recombinare radiativă şi este apropiată de unitate. În cazul diodei laser cu GaAs pentru radiaţia având $\lambda \approx 8400$ Å indicele de refracţie este $n \approx 3{,}6$, $D = 2$ μm, $l = 500$ μm şi $\alpha = 10$ cm^{-1}, se obţine: $J_t \approx 500$ A/cm^2.

O îmbunătăţire a performanţelor diodelor laser s-a realizat prin fabricarea de medii active din material semiconductor cu *dublă heterostructură. Heterostructura* reprezintă o joncţiune între două cristale semiconductoare cu compoziţie chimică diferită şi cu dopaje de tip diferit. Dubla heterostructură este o structură formată din trei straturi de material semiconductor, cele de la extremităţi având formulă chimică şi conductivitate electrică (dopaj) diferite faţă de cel din mijloc, care conţine regiunea cu joncţiunea activă, de exemplu GaAlInP/GaInP/ GaAlInP.

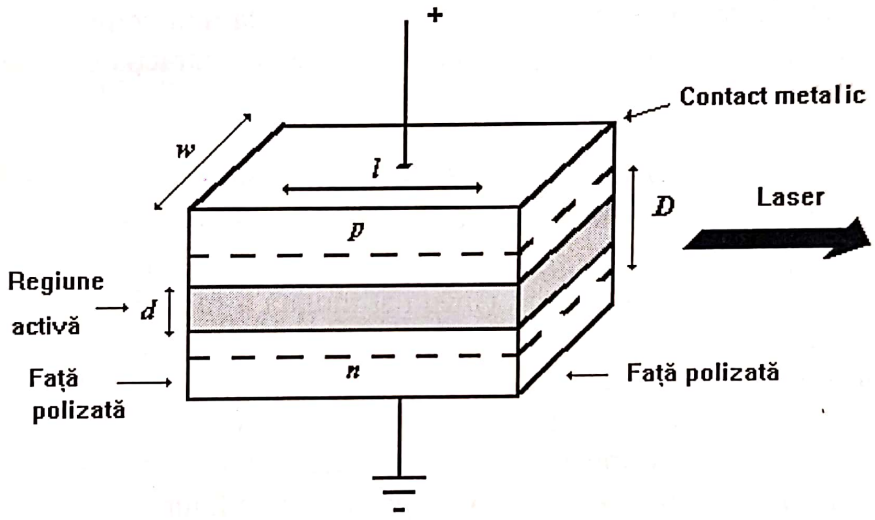


Figura 27. Dioda laser homojoncţiune.

Diodele laser având lungimea de undă 805–810 nm generează o radiaţie care este puternic absorbită de melanină şi pătrunde adânc în retină şi învelişul coroidal, astfel încât pot fi utilizate în retinoterapie şi tratarea unor tipuri de leziuni ale retinei.

Diode emiţătoare de lumină. În multe aplicaţii ca surse mai sunt folosite şi diodele emiţătoare de lumină (***Light Emitting Diodes*** – LED).

Radiaţia provenită de la o astfel de diodă este incoerentă şi este emisă într-un domeniu larg atât al lungimilor de undă (800 nm ÷ 1550 nm) cât şi al unghiurilor.

În cazul unei diode *p-n* homojoncţiune cea mai mare parte a radiaţiei rezultată în urma procesului de recombinare este generată în interiorul unui volum din semiconductor având dimensiunea liniară proporţională cu lungimea de difuzie în timp ce în cazul unei heterostructuri duble radiaţia este generată în interiorul stratului activ. Radiaţia este emisă în ambele cazuri în toate direcţiile. Eficienţa cuantică este determinată de raportul dintre numărul de fotoni emişi de materialul semiconductor şi numărul de purtători care trec prin joncţiune.

Scanned with OKEN Scanner

Cu aproximaţie destul de bună se poate considera că puterea emisă de LED este proporţională cu curentul prin diodă deşi există o tendinţă de saturaţie la puteri mari odată cu creşterea temperaturii. Rata de modulaţie este limitată la aproximativ 100 MHz.

O diodă emiţătoare de lumină este astfel fabricată încât la o anumită valoare de prag a curentului mecanismul de generare a luminii se modifică. La valori mici ale curenţilor radiaţia luminoasă este produsă în urma emisiilor spontane. În apropierea pragului radiaţia luminoasă emisă este dominată de emisia stimulată. Ca urmare a acestui fapt radiaţia emisă devine mai direcţională, mai coerentă şi spectrul său se prezintă sub forma unei sau unor linii foarte înguste.

Atât valoarea de prag a curentului cât şi spectrul sunt foarte sensibile la variaţiile de temperatură şi se pot modifica funcţie de condiţiile mediului înconjurător sau în timpul operării în impulsuri sau la valori mari ale puterii emise. Printre avantajele pe care le prezintă aceste dispozitive se numără aria emisivă mai mică decât a diodelor laser, consum mic de energie eletrică precum şi o frecvenţă de modulaţie utilizabilă mai mare.

Pentru fabricarea diodelor LED se utilizează semiconductori de tip GaAsP sau GaP dopaţi cu N sau ZnO (fig. 28).

Deşi puterea unei diode LED de tipul celor prezentate mai sus creşte cu 50% cu creşterea temperaturii de la 90°C la 100°C temperatura joncţiunii se menţine la 60°C ÷ 70°C. Cu ajutorul diodelor LED prezentate mai sus se poate cupla o radiaţie luminoasă cu puterea de câţiva μW într-o fibră optică având diametrul de 50 μm şi o apertură numerică de 0,17. Pentru a transforma diodele emiţătoare de lumină în lasere trebuie ca inversia de populaţie să atingă valoarea de prag, iar pe feţe să fie adăugate oglinzi.

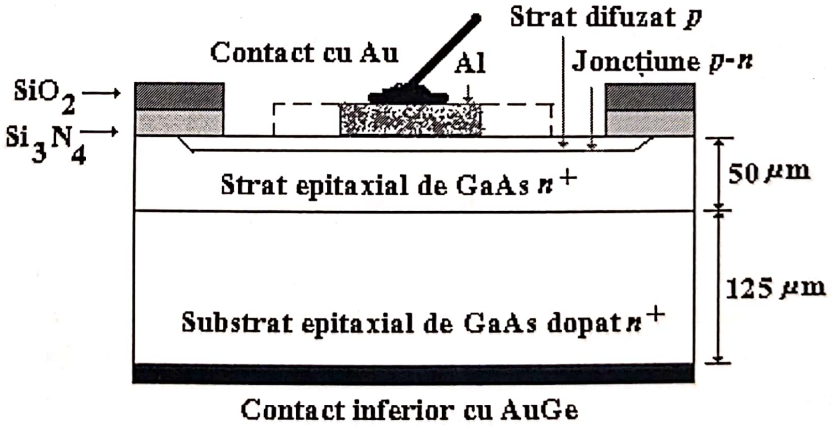


Figura 28. Schema unei diode LED.

Radiaţia emisă de LED-uri este utilizată pentru tratamente asupra pielii (acnee, răni, arsuri din cauza luminii solare etc.), iluminat, dar poate distruge retina în urma absorbţiei de către ochi dacă lungimea de undă este mai mică de 455 nm şi intensitatea este destul de mare [15].

Scanned with OKEN Scanner

Lasere cu fibre optice. Radiaţia laser poate fi transportată şi cu ajutorul *fibrelor optice* (fig. 29) [19–20]. Fibrele optice au o secţiune circulară şi sunt formate dintr-un *miez*, (cu indicele de refracţie n_1) şi o *cămaşă*, (cu indicele de refracţie n_2) dispusă la exteriorul miezului. Indicele de refracţie al miezului este mai mare decât cel al cămăşii. Fibrele optice cel mai des utilizate sunt realizate dintr-un material refractar acid (*silica*) care conţine cel puţin 93% SiO_2. Diametrul miezului este mult mai mare decât lungimea de undă a radiaţiei, fiind cuprins între 5÷200 μm. O valoare standard este de 50 μm cu cămaşă de 125 μm. Propagarea luminii de-a lungul miezului fibrei se produce în urma unor reflexii totale interne repetate pe interfaţa miez-înveliş, aceasta având loc dacă unghiul de incidenţă la interfaţa miez/cămaşă nu depăşeşte unghiul critic corespunzător reflexiei totale interne:

$$\sin \Phi_c = n_2 / n_1 . \tag{1.70}$$

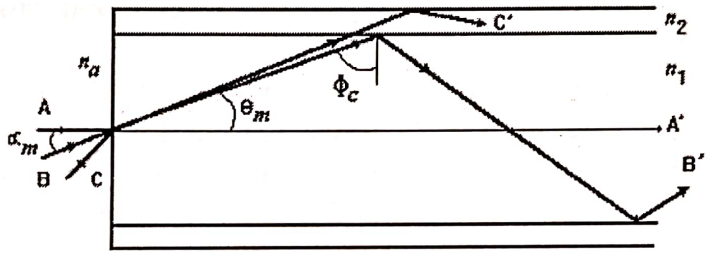


Figura 29. Propagarea luminii printr-o fibră optică. Raza AA' este rază axială (meridională), raza BB' este raza critică corespunzătoare reflexiei totale interne, iar raza CC' este radiată în exteriorul fibrei (rază evanescentă).

Pentru ca relaţia (1.70) să fie satisfăcută trebuie ca lumina să fie injectată sub un unghi de acceptanţă, α_m

$$\sin \alpha_m = \left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2} / n_a \tag{1.71}$$

unde n_a este indicele de refracţie al aerului. Prin analogie cu termenii utilizaţi pentru caracterizarea concentrării luminii de către obiectivele microscopice şi în cazul fibrelor optice se introduce noţiunea de *apertură numerică*, (*NA*), definită cu ajutorul relaţiei:

$$(NA) = n_a \sin \alpha_m = \left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2} = (2n\Delta n) \tag{1.72}$$

în care:

$$\Delta n = (n_1 - n_2), \text{ iar } n = \frac{1}{2}(n_1 + n_2). \tag{1.73}$$

Scanned with OKEN Scanner

Considerând o fibră caracterizată de un indice de refracţie de tip treaptă valorile tipice sunt: n=1,46, Δn=0,02, (NA)=0,24, unghiul de acceptanţă α_m =14°, iar radiaţia luminoasă (laser emisă de o diodă laser, laser cu Ar etc.) injectată în fibra optică cu ajutorul lentilelor poate fi transportată la locul intervenţiei în ochi. Acest tip de tratament este ideal in cazul retinei periferice.

BIBLIOGRAFIE

1. T.H. Maiman, *Stimulated Optical Radiation in Ruby*, Nature, Vol. **187**, p. 493–494, (1960).
2. Javan, R. Bennet, and D.R. Herriott, *Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture*, Phys. Rev. Letters Vol. **6**, p. 106110, (1961).
3. A. Yariv, R.C.C. Leite, *Dielectric waveguide mode of light propagation in p-n junctions*, Appl. Phys. Lett. Vol. **2**, p. 55–57, (1963).
4. R.H. Pantell, H.E. Puthoff, *Fundamentals of Quantum Electronics*, John Willey, Inc. London, (1969).
5. P.W. Milonni, J.H. Eberly, *Lasers*, John Wiley and Sons, (1988).
6. M. Popescu, *Fizica şi ingineria laserilor*, Editura Tehnică, Bucureşti, (2000).
7. N.N. Puşcaş, *Lasere*, colecţia Academica, Editura TOP FORM, Bucureşti, (2007).
8. M. Popescu, D.C. Dumitras, N.N. Puscas, *Optical Science and Engineering in Romania*, Optical Engineering, Vol. **35**, No. 5, p. 1237–1238, (1996).
9. D. Mihalache, V. Baran, A.I. Nicolin, *Proceedings of the Romanian Academy – Series A: An Account of the Physics Section*, Romanian Reports in Physics, Vol. **70**, No. 113 , p. 1-32, (2018).
10. M. Sargent III, M.O. Scully, W.E., Lamb jr. *Laser Physics*, PERSEUS Books, (1997).
11. K.F. Renk, *Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering* (*Graduate Texts in Physics*), Springer, 2nd ed. 2017 Edition, ISBN-13: 978-3319506500, ISBN-10: 3319506501, (2017).
12. A. Yariv, *Quantum Electronics*, John Wiley&Sons, (1989).
13. L. Mandel, E. Wolf, *Optical Coherence and Quantum Optics*, Cambridge Univ. Press, (1995).
14. D.C. Dumitras, *Ingineria fasciculelor laser,* Editura All, ISBN: 973-571-522-8 (2004).
15. https://www.medicalnewstoday.com/articles/led-light-therapy.
16. D. Palanker, *Evolution of Concepts and Technologies in Ophthalmic Laser Therapy,* Annual Review of Vision Science, Vol. 2, p. 295–319, (2016).
17. L. Hu, Y. Huang and M. Lin, *Excimer Laser and Femtosecond Laser in Ophthalmology*, http://dx.doi.org/10.5772/64238, DOI: 10.5772/64238, (2016).
18. M. Gawecki, *Micropulse Laser Treatment of Retinal Diseases*, J. Clin Med., DOI: 10.3390/ jcm8020242, Vol. **8**, No. 2, p. 242–253, (2019).
19. N.N. Puşcaş, *Optică integrată*, Editura POLITEHNICA PRESS, Bucureşti, ISBN 978-606-515-077-5, (2010).
20. J. Crisp, *Introduction to Fiber Optics*, 3rd Edition, Kindle Edition, ISBN-13: 978-0750667562, ISBN-10: 0750667567, (2005).

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 2

LASER-UL ÎN OFTALMOLOGIE. GENERALITĂȚI

DORINA POPA, VALENTIN DINU

- **LASER este un acronim și înseamnă:** ***Light, Amplification by Stimulated Emission of Radiation.***
- Albert Einstein, în 1917, a pus bazele teoretice ale principiului LASER.
- Charles Townes, în 1950, a reușit să producă prima dată microunde, utilizând emisia stimulată.
  - Pornind de la acest lucru, oamenii de știință de la acea vreme au reușit să obțină radiație electromagnetică cu lungime de undă scurtă – lumină vizibilă – și în 1960 a fost realizat primul LASER de Theodore Maiman
  - În 1961, a fost realizat primul LASER utilizat în oftalmologie care a fost un LASER ruby pulsat cuplat la un oftalmoscop direct cu care se tratau rupturile retiniene și retinopatia diabetică proliferativă [5].
- L'Esperance, în 1968, a dezvoltat LASER-ul argon care continuă să fie unul dintre cele mai utilizate LASERE și în zilele noastre.

NOȚIUNI DE FIZICA LASER-ILOR

Un atom este format dintr-un nucleu încărcat pozitiv și electroni încărcați negativ care se învârt pe orbite în jurul acestui nucleu.

- **Un atom** este extrem de dinamic. Teoretic electronii pot să își schimbe poziția pe aceste orbite. Fiecare orbită are nivelul ei de energie și atunci când trec de pe o orbită pe alta, electronii câștigă sau pierd energie. Nivelul de energie pierdut sau câștigat de electroni atunci când schimbă orbitele este egal cu diferența de energie de la o orbită la alta.
- **Fotonii** sunt particulele care formează lumina, fiecare având o anumită frecvență. Frecvența unui foton este direct proporțională cu energia sa. Astfel, știm că un foton de lumină albastră deține mai multă energie decât un foton de lumină roșie [1].

Scanned with OKEN Scanner

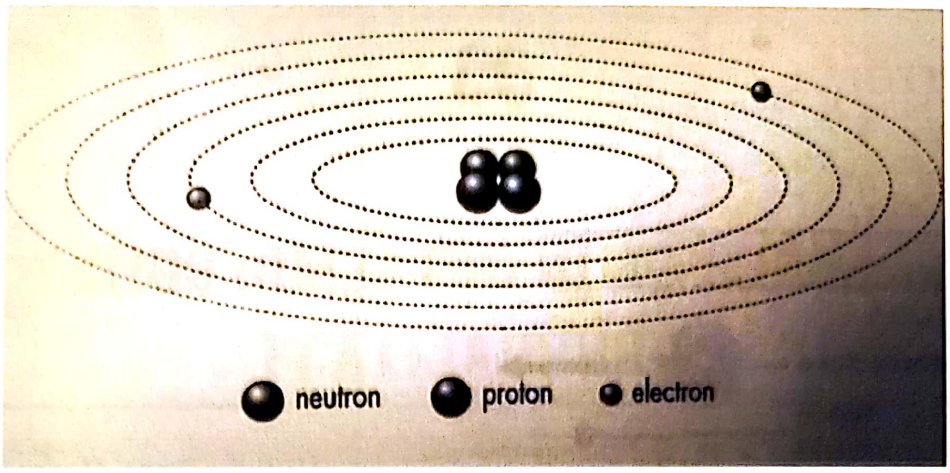


Figura 1. Modelul unui atom de heliu cu 2 electroni.

- Fotonii și atomii interacționează în trei feluri:
  - **Absorbție**: un electron poate absorbi un foton și să sară pe orbită cu nivel de energie superior cu condiția ca energia fotonului absorbit să fie egală cu diferența de energie dintre cele două orbite.
  - **Emisie spontană:** un electron într-o stare de energie înaltă trece spontan într-o stare cu energie joasă și emite un foton. Fotonul creat are o energie egală cu diferența de energie dintre cele două orbite pe care s-a aflat electronul.
    - Emisia spontană este un proces întâmplător deoarece elecronii pot sta doar câteva nanosecunde în starea de energie înaltă și în orice moment un electron poate trece de la o stare de energie înaltă la un nivel inferior de energie cu emiterea unui foton [1].

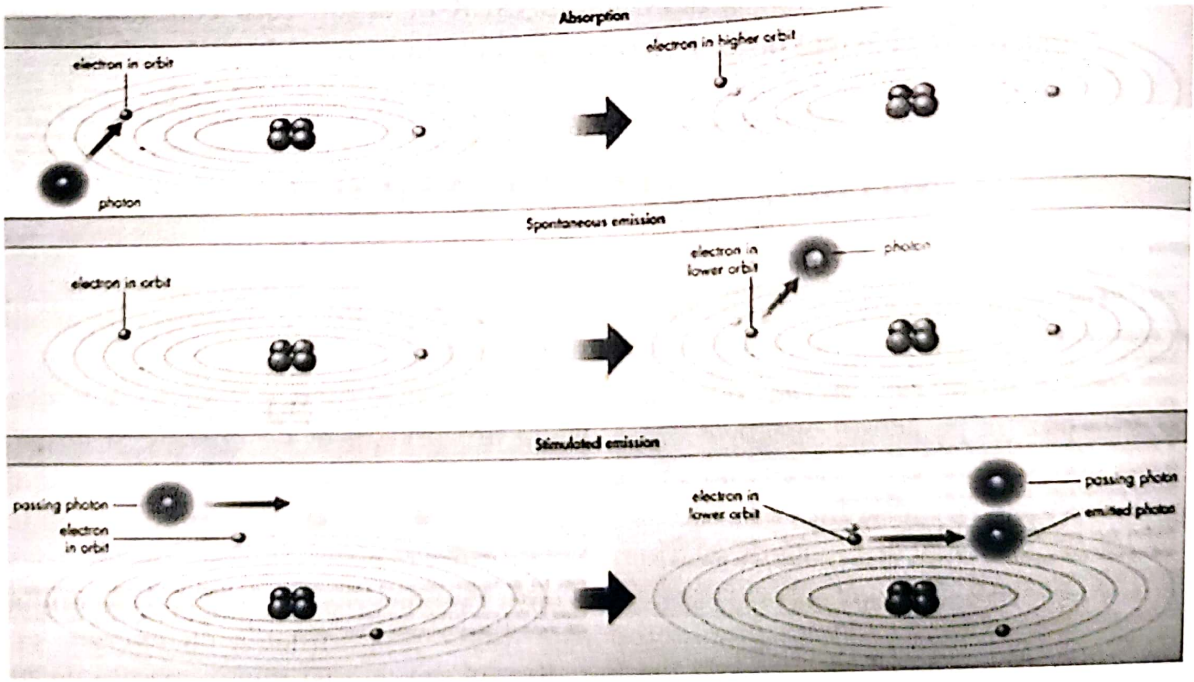


Figura 2. Fenomenul de absorbție, emisie spontană și emisie stimulată.

Scanned with OKEN Scanner

– **Emisie stimulată** se produce atunci când un foton se află în vecinătatea unui electron cu energie înaltă și îl stimulează să emită un foton și să treacă la un nivel de energie inferior. Fotonul emis are o energie egală cu diferența de energie dintre cele două orbite ale electronului. Sintetizând, **emisia stimulată presupune deci, interacțiunea dintre un foton și un electron cu energie înaltă și rezultă doi fotoni și un electron cu energie joasă.** Cei doi fotoni rezultați sunt *identici în frecvență și fază* adică *sunt coerenți.* Dintre multiplele moduri de a produce lumină, **emisia stimulată este singura care produce *lumina coerentă*,** o proprietate cu multiple aplicații [2].

Principiul LASER – Emisia stimulată a unui foton de radiație electromagnetică este principiul de bază care face posibilă existența LASER-ilor [2].

- Caracteristicile luminii produse de **LASER sunt: coerența, intensitatea, direcționalitatea și monocromaticitatea,** aceasta nefiind întâlnite pentru lumina provenită de la soare sau de la o sursă incandescentă.
- Un fascicul luminos este **coerent** dacă undele electromagnetice sunt în aceeași fază.
  - divergența foarte mică a fasciculului LASER îi oferă **direcționalitate** ridicată.
  - ca urmare a acestui lucru, **intensitatea** luminii este foarte mare.
  - **monocromaticitatea** provine din faptul ca un LASER emite un spectru foarte îngust de lungimi de undă concentrat pe un vârf, astfel încât **un LASER poate fi definit prin lungimea de undă pe care o emite** (unele LASERE pot avea două vârfuri).
- LASER-ul este alcătuit din:
  - mediul activ (solid, lichid, gaz) sau mediul de amplificare care se găsește în tija LASER-ului sau cutia de rezonanță;
  - două oglinzi dispuse la capetele mediului de amplificare, una dintre acestea permite transmisia parțială a luminii în afara cavității LASER-ului spre țesutul țintă;
  - pompă ce introduce energie luminoasă în cavitatea LASER-ului excitând un anumit număr de atomi.

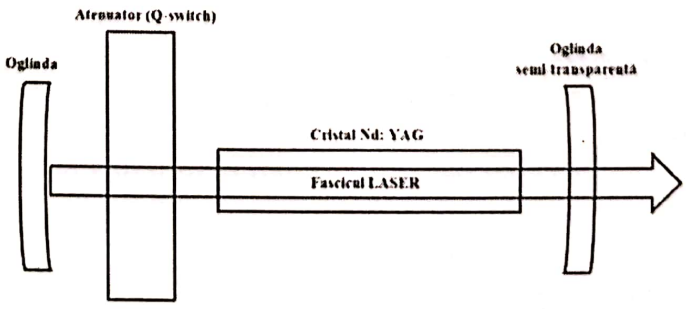


Figura 3. Diagrama unui LASER Nd: YAG cu tehnologia de Q-switching pasiv.

Scanned with OKEN Scanner

- LASER-ul este un dispozitiv complex în care mediul de amplificare solid, lichid sau gazos primește energie prin procesul numit pompare, din exterior
  - prin procesul numit pompare, care se poate realiza cu ajutorul unei surse de lumină, are loc excitarea atomilor din mediul de amplificare
  - excitarea se realizează prin aducerea unor electroni de pe niveluri energetice inferioare pe niveluri energetice superioare.
- De la nivelul energetic superior, electronii coboară la un nivel intermediar, numit nivel metastabil, iar în acest proces, generează un foton
  - un fascicul de lumină trece prin acest mediu de amplificare, moment în care un foton care interacționează cu un atom excitat determină emisia unui nou foton cu aceeași lungime de undă și stare de polarizare
  - în acest mod este posibil ca dintr-un singur foton să se obțină un fascicul cu aceleași caracteristici ca fotonul inițial
  - acest fapt descrie caracteristica de coerență a fasciculelor LASER
- La fiecare capăt al mediului de amplificare se găsește câte o oglindă. Lumina se reflectă între cele două oglinzi și se amplifică la fiecare pasaj prin mediu. Una dintre oglinzi este parțial transparentă, o parte din lumină ieșind spre țesuturile țintă.
- În funcție de mediul activ, LASERII pot fi: în stare solidă, în stare lichidă sau în stare gazoasă [5].
  - **LASERII în stare solidă** sunt LASER Ruby și Nd:YAG
  - **LASERII lichizi** constau dintr-o componentă colorată, fluorescentă dizolvată într-un solvent lichid și ei pot genera lungimi de undă multiple deoarece coloranții sunt formați din molecule largi cu structură variată și spectru complex.
  - **LASERII gazoși** sunt laserii ionici și laserii cu doxid de carbon.
    - LASERII ionici sunt formați din gaze rare, ionizate cum sunt argon și krypton, ca și mediu activ.
    - LASERII cu dioxid de carbon conțin și heliu și nitrogen.
- O altă categorie sunt LASERII care au ca și mediu activ semiconductori – **LASER-ul diodă.**
  - Aceștia pot genera lungimi de undă variate; de exemplu între 660–900 nm – LASER-ul cu gallium arsen sau lungime de unde între 1300–1550 nm – LASER-ul cu indiu phosphide.

Un sistem LASER este legat prin fibră optică la aparatul propriu-zis utilizat pentru tratament care poate fi biomicroscop, oftalmoscop indirect, proba de endolaser sau exolaser.

- ***Principiul de acțiune* al unui LASER constă în pomparea de energie într-un mediu activ și producerea unei excitări a atomilor existenți în acest mediu.**
  - LASERII cu gaz sunt cei mai utilizați în practica clinică.

Modul de funcționare al unui LASER cu gaz:

- Atomii gazului de lucru – Argon sau Krypton sunt închiși într-un tub cilindric numit *cavitate LASER.*

Scanned with OKEN Scanner

- În condiții de repaus electronii, în marea lor majoritate, sunt în stare de energie joasă dar pot exista și electroni în stare de energie înaltă care să producă **emisii spontane,** generând astfel fotoni. Dacă acest foton întâlnește un electron în stare de energie joasă, atunci este absorbit, dacă întâlnește un electron în stare de energie înaltă, atunci apare fenomenul de **emisie stimulată.**
- Pentru a menține starea de emisie stimulată este necesar ca electronii în stare de energie înaltă să fie mai numeroși decât cei cu energie joasă, fenomen denumit *populație inversată.* De asemenea, pentru a produce acest fenomen gazul este pompat cu o lumină puternică sau un arc electric care forțează electronii să treacă într-o stare de energie superioară. Menținerea acestei stări este necesară deoarece această stare se menține doar câteva nanosecunde și prin emisie spontană se revine la starea de energie inferioară a electronilor [2,5].
- Această stare de emisie stimulată trebuie menținută printr-o reacție în lanț și aceasta se realizează cu ajutorul celor două oglinzi de la capetele cavității LASER așezate într-un mod special care se numește rezonator. O oglindă reflectă total fotonii, iar cealaltă parțial, dar cea mai mare parte de lumină coerentă este reflectată înapoi în cavitate pentru a produce emisie stimulată. Doar o parte din lumina coerentă este lăsată să iasă prin oglindă parțial și astfel se obține *fasciculul LASER.*

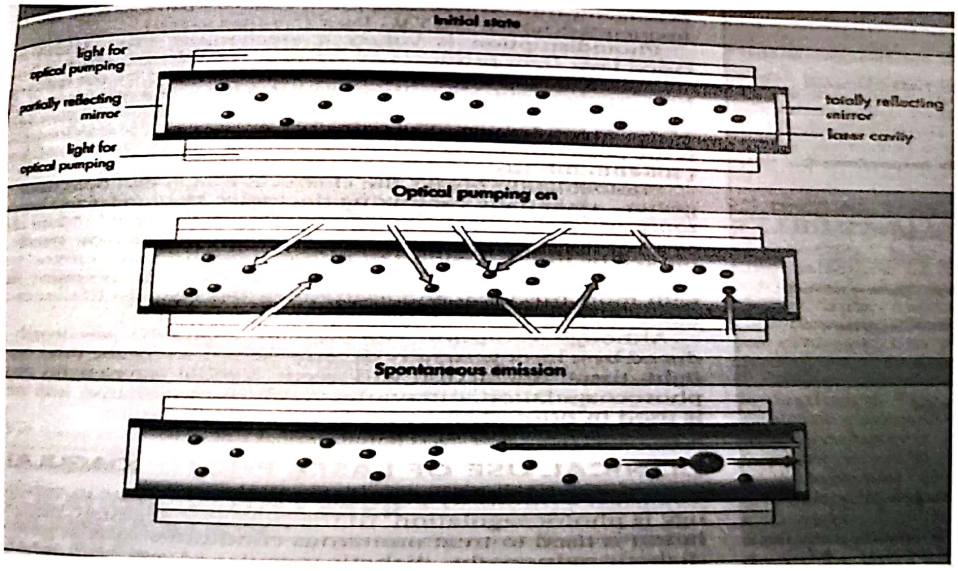


Figura 4. LASER cu gaz.

- În LASERII gazoși și Nd:YAG doar 2% din energia utilizată pentru a genera emisie LASER este convertită în lumină LASER. Restul de 98% din energie devine căldură care este îndepărtată prin răcire.

• La LASER-ul diodă în infraroșu, 20% din energie este convertită în energie LASER. Această lungime de undă în infraroșu permite o trecere mărită prin opacitățile cristaliniene, hemoragii și pigmentul xantofil macular și prin scleră, de aceea LASER-ul diodă în infraroșu este utilizat pentru aplicații transsclerale [5].

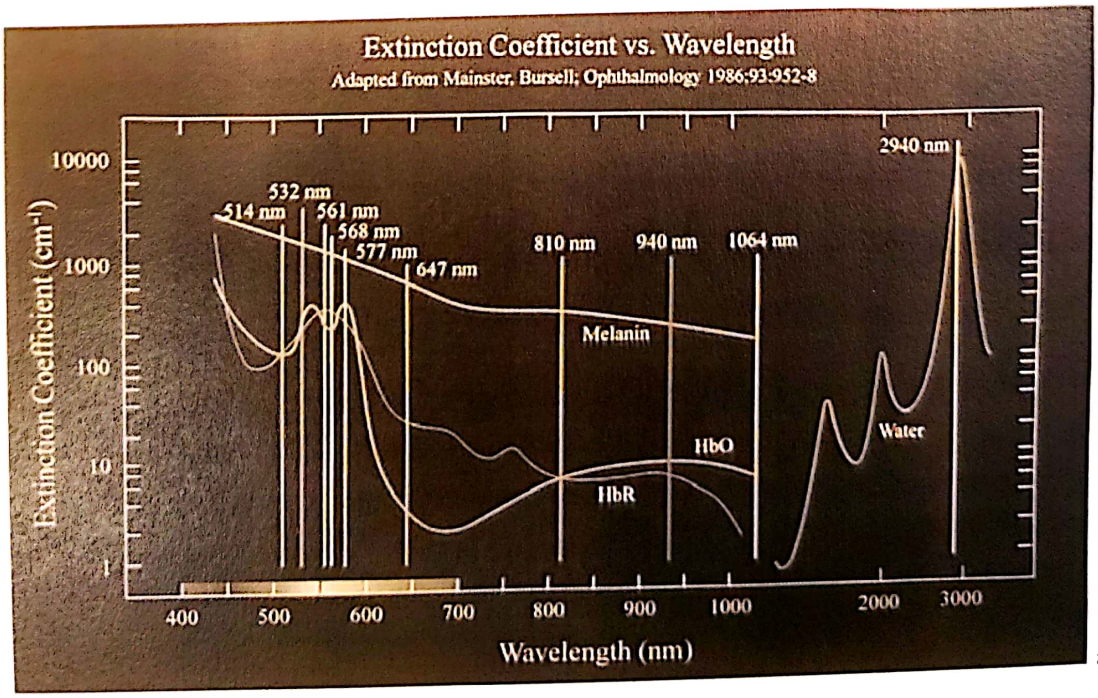
Scanned with OKEN Scanner

APLICAREA CLINICĂ A ENERGIEI LASER

- În context clinic, LASER-ul se poate aplica asupra țesutului prin intermediul următoarelor dispozitive:
  - biomicroscop: cel mai frecvent mod folosit pentru aplicarea LASER-ului în polul anterior.
  - oftalmoscop indirect: cel mai frecvent mod folosit pentru aplicarea LASER-ului în polul posterior.
  - microscop chirurgical: singurul mod în care se poate aplica energia LASER în caz de:
    - endofotocoagulare (în contextul vitrectomiei)
    - chirurgie refractivă corneană
    - chirurgia cataractei asistată de femtolaser
- **Lumina LASER este monocromatică, coerentă și colimatată.**
  - **Datorită acestor proprietăți LASER-ul permite un spot mic, focalizat și interacțiuni specifice cu țesuturile comparativ cu lumina albă.**
- Un LASER se definește prin următorii parametri:
  - o anumită lungime de unda λ ,
  - energie E,
  - putere P și
  - densitatea puterii.

LUNGIMEA DE UNDĂ

- cu cât este mai mică cu atât se disipează mai mult în țesuturile intraoculare.



a.

Scanned with OKEN Scanner

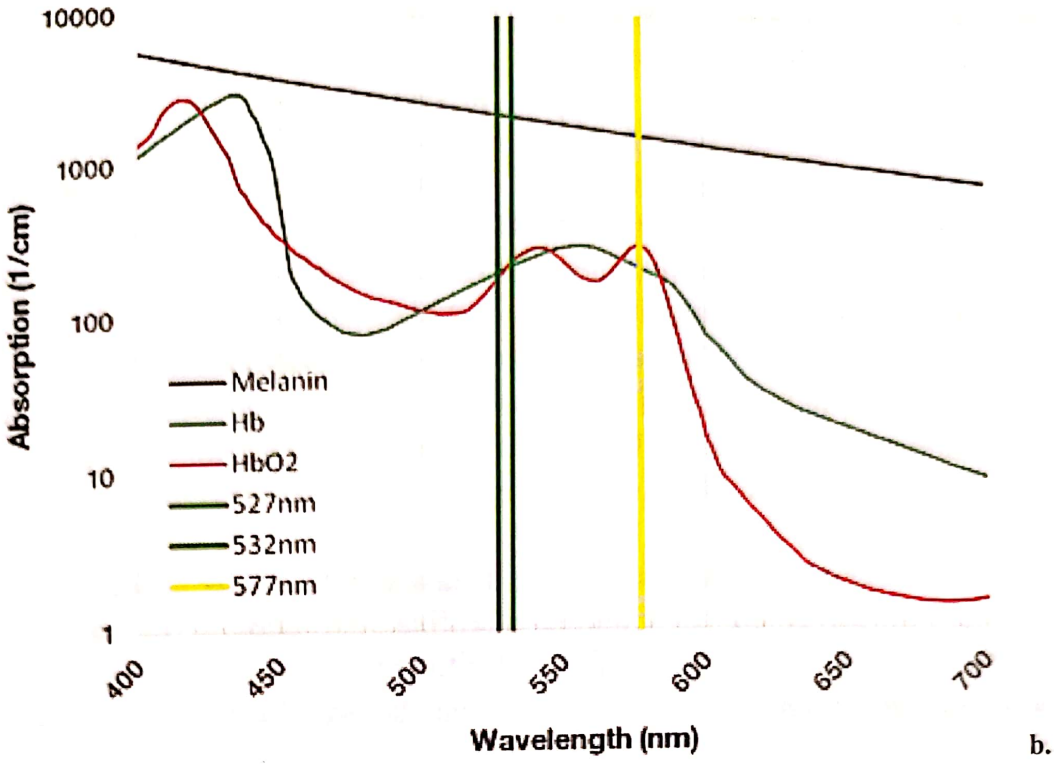


Figura 5 a, 5b. Alegerea unei lungimi de undă optime depinde de domeniul de absorbție al țesutului țintă [6].

- *lumina albastră* este absorbită intens de pigmentul xantofil macular deci ar fi o alegere proastă pentru fotocoagularea unei leziuni maculare. Lumina albastră cu lungime de undă mică este împrăștiată mai mult decât o lumină cu lungime de undă mai mare, prin urmare produce leziuni și asupra retinei adiacente. De asemenea, fiind absorbită de cristalin, lumina albastră necesită o iradiere mai mare [6].
- *lumina verde* este absorbită de pigmentul melanic și hemoglobină.
- *lumina roșie* este absorbită bine de melanină, dar mai slab de hemoglobină.

Lumina roșie penetrează mai bine prin mediile oculare opacifiate decât lumina verde.

În general, doza de iradiere necesară pentru a obține un efect vizibil la nivelul retinei depinde de pigmentarea retinei, locul unde această lumină LASER este absorbită [8].

Tabelul 1

LASERII și lungimile de undă

Tip de LASER	Lungimea de undă- (nm)
ARGON albastru–verde	488 nm
ARGON verde	514,5 nm
Nd:YAG dublat în frecvență	532 nm
KRYPTON galben	568,2 nm
KRYPTON roșu	647,1 nm
DIODA	780–850 nm
Nd:YAG	1064 nm

Scanned with OKEN Scanner

- *Puterea* se măsoară în Watts și reprezintă numărul de fotoni emiși într-o secundă sau energia pe unitatea de timp.
- *Timpul de expunere* este durata – în secunde – de emitere a fotonilor la fiecare arsură produsă de LASER.
- *Energia* este invers proporțională cu lungimea de undă – cu cât este mai mică cu atât energia este mai mare.
  - Energia reprezintă numărul de fotoni emiși în timpul unei expuneri LASER de orice durată și se exprimă în Jouli.
  - Astfel *E(joule)= Puterea(watts) X Timpul de expunere(Secunde)*
  - Leziunile la nivelul retinei sunt strâns legate de puterea LASER-ului.
  - **Majoritatea LASER-ilor utilizați pentru fotocoagulare sunt controlați prin puterea LASER-ului, iar cei pentru fotodisrupție prin nivelul de energie** [8].
- *Dimensiunea spotului* este diametrul fasciculului LASER și se măsoară în microni. Dimensiunea spotului este fixă, dar energia și puterea pot fi modificate pentru a obține efectul dorit.
- *Densitatea* puterii – energia pe unitateaa de țesut. Se măsoară în watts/cm^2.

IMPORTANȚA CLINICĂ

În fotocoagulare chirurgul poate schimba:
- **dimensiunea spotului**
- **timpul de expunere**
- **puterea LASER-ului.**

- De aceea este important să avem o înțelegere clară asupra faptului cum acești parametrii pot afecta leziunile produse [6,8].
- ***Controlul asupra dimensiunii spotului*** este foarte important pentru a obține efectul terapeutic dorit. În mactulă dimensiunea spotului trebuie să fie foarte mică (50–100 microni) pentru a minimiza distrugerea țesuturilor adiacente. În cazul aplicațiilor LASER la periferia retinei cum este panfotocoagularea, se pot folosi dimensiuni de 200–500 microni.

Lentilele folosite in fotocoagularea retinei pot afecta dimensiunea spotului

Tabelul 2

Gradul de magnificare al spotului în funcție de lentila folosită

Lentila utilizata	Grad de magnificare
GOLDMANN	1,08
PANFUDUSCOP	1,41
MAINSTER	1,47
QUADRASFERIC	1,97

Scanned with OKEN Scanner

Lentile de contact folosite

- În aplicarea LASER-ului cu ajutorul biomicroscopului, fie în polul anterior, fie în polul posterior, trebuie folosită o lentilă de contact (opțională în capsulotomie și iridotomie YAG) care oferă mai multe avantaje:
  - vizualizare și expunere bună, anulând interfața aer-film lacrimal
  - focalizează corect energia LASER, minimizând variațiile care pot apărea din cauza curburii corneene
  - focalizează corect LASER-ul de ghidaj (de regulă de tip HeNe, Heliu-Neon), a cărui poziție poate fi viciată de aberația cromatică, care se creează la interfața aer-film lacrimal, și care provine din diferența de lungimi de undă (λ) dintre LASER-ul de ghidaj și cel terapeutic fixează globul ocular și oferă confort procedural, atât pentru chirurg, cât și pentru pacient (care nu trebuie să-și facă griji în legătură cu mișcările globului sau cu clipitul)

Există multe tipuri de lentile disponibile comercial pentru aplicarea energiei LASER. Câteva exemple:

- capsulotomie: *Volk capsulotomy*, *Abraham capsulotomy*
- iridotomie/iridoplastie: *Abraham iridotomy*, *Blumenthal iridotomy*, *Wise iridotomy*
- trabeculoplastie: *Ocular Magna View Gonio*, *Ocular Ritch trabeculoplasty*, *Volk SLT*, *Goldmann cu trei oglinzi*
- retinian focal: *Volk Area Centralis*, *Goldmann cu trei oglinzi*
- panfotocoagulare retiniană: *Volk Quadraspheric*, *Volk Super Quad 160*, *Goldmann cu trei oglinzi*

- ***Controlul asupra timpului*** de expunere este importantă deoarece o creștere a timpului de expunere cu păstrarea constantă a celorlalți parametri determină o creștere moderată a diametrului leziunii.
  - o creștere de zece ori a timpului de expunere dublează diametrul leziunii
  - un timp de expunere mai lung determină o penetrare mai adâncă a unui LASER în țesuturi, adică leziuni mai profunde [1].
- ***Controlul asupra puterii*** este foarte important deoarece o creștere a puterii determină o creștere semnificativă a diametrului leziunii.
  - astfel o dublare a puterii determină o dublare a diametrului leziunii și adesea o putere mare determină durere
  - de aceea este de preferat **să se crească timpul de expunere decât a se crește puterea LASER-ului [10].**
- ***Importanța formei spotului LASER*** în cea mai mare parte a LASER-ilor energia este concentrată în centrul fasciculului LASER cu mai puțină energie în periferia spotului [5].

Scanned with OKEN Scanner

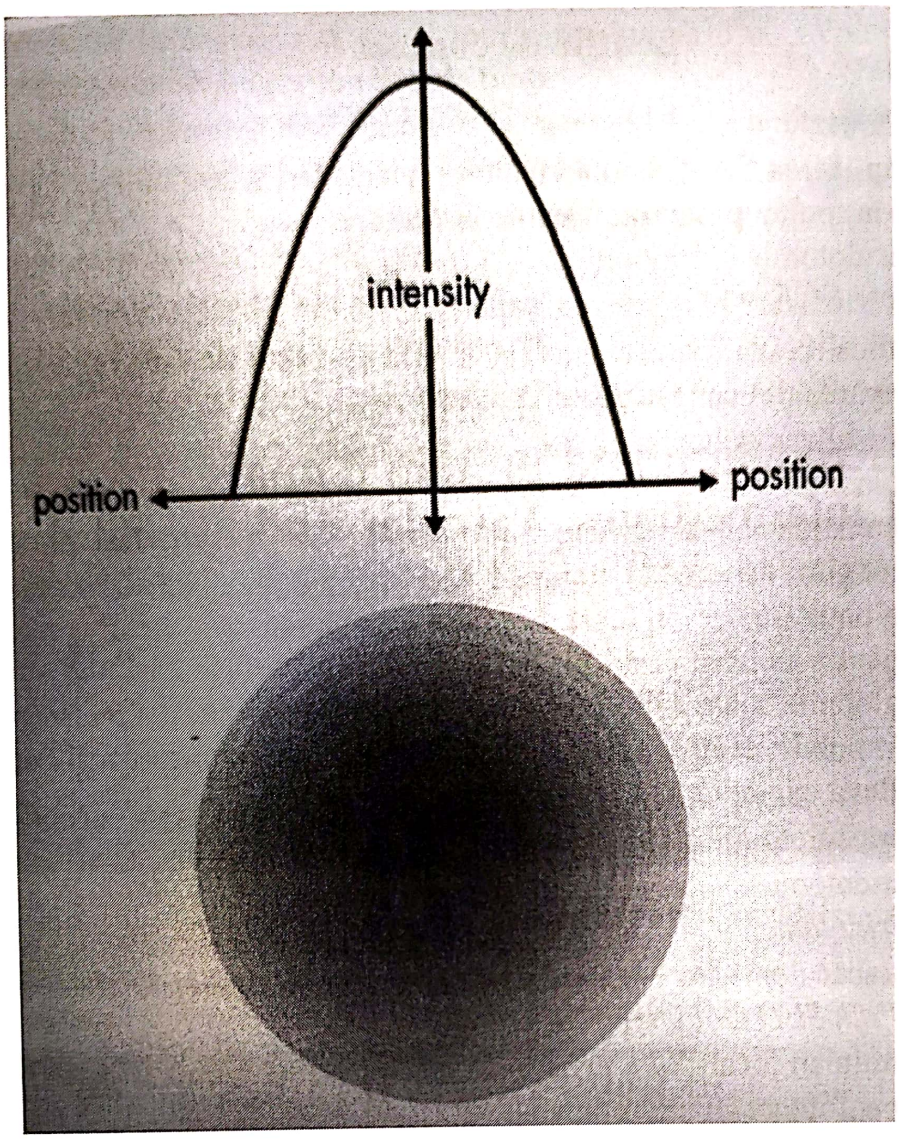


Figura 6. Distribuția energiei într-un spot LASER obișnuit – este concentrată în centrul fasciculului.

Dacă se utilizează o putere mare leziunea centrală va fi foarte adâncă cu producerea chiar a unor găuri retiniene. În schimb energia de la periferia spotului, chiar dacă leziunea nu este vizibilă, ea are efecte asupra țesutului din jur de aceea trebuie să avem în vedere că aria de distrugere pe care o produce LASER-ul este întodeauna mai mare decât aria vizibilă.

- **LASERII pot emite în mod continuu sau pulsat.**

LASERII produc prin interacțiunea cu țesuturile trei tipuri de efecte în funcție de lungimea de undă:

- **lumina vizibilă produce FOTOCOAGULARE**
- **lumina ultravioletă produce FOTOABLAȚIE și**
- **lumina infraroșie produce FOTODISRUPȚIE și FOTOCOAGULARE**
- **LASERII cu undă continuă** emit cantitate mare de energie dar pe o perioadă mai mare de timp astfel încât puterea este mai mică. Exemple: LASER-ul argon, krypton, diode [7].

Scanned with OKEN Scanner

– **LASERII pulsați** emit niveluri joase de energie concentrate în perioade foarte scurte astfel încât fiecare puls are o putere foarte mare. Exemple de LASERI pulsați sunt Nd:YAG și Excimer.

Interacțiunea dintre LASER și țesut

În interacțiunea cu țesuturile în general și cu cele oculare în special, lumina LASER produce diferite efecte.

Există trei tipuri de efecte pe care LASER-ul le poate genera la nivel tisular:

– ***fototermic:***
  • **fotocoagulare**: absorbția energiei luminoase de către țesut duce la creșterea temperaturii și denaturarea proteinelor (ex: LASER Argon).
  • **fotovaporizare**: absorbția energiei luminoase de către țesut duce la vaporizarea apei intra- și extra-celulare (ex: LASER CO_2).
– ***fotochimic:***
  • **fotoablație:** energia luminoasă duce la ruperea legăturilor moleculare și separarea componentelor în compuși mici, volatili (ex: LASER excimer).
  • **fotoradiație**: energia luminoasă determina apariția de radicali liberi citotoxici, prin intermediul unui agent sensibilizant administrat intravenos [ex: LASER din terapia fotodinamică, PDT (*photodynamic therapy*)].
– ***fotoionizant:***
  • **fotodisrupție:** energia luminoasă îndepărtează electronii din moleculele tisulare, urmată de expansiunea rapidă a țesutului și generarea unei unde de șoc mecanic (ex: LASER YAG, LASER în femtosecunde).

A. FOTOCOAGULAREA

Fotocoagularea constă în creșterea temperaturii în țesutul tratat de la 37°C până la 50°C rezultând denaturarea proteinelor tisulare și coagularea țesuturilor.

Exemple clinice de fotocoagulare: panfotocoagularea retinei, trabeculoplastia LASER-argon, iridectomia periferică, distrucția termică a membranelor neovasculare coroidiene [1].

- Tipuri de LASER care produc fotocoagulare: LASER-ul argon verde (514 nm), LASERUL argon verde–albastru (488 nm), LASERUL krypton roșu (647 nm), LASERUL roșu ruby (694 nm), LASERUL diodă (810 nm) și LASERUL Nd-Yag dublat în frecvență – verde (532 nm) [1].
- Efectele fotocoagulării la nivelul retinei se vizualizează sub forma unor „arsuri" ce pot fi clasificate de la ușor la puternic cu 2 grade intermediare, mediu și moderat [7].

Scanned with OKEN Scanner

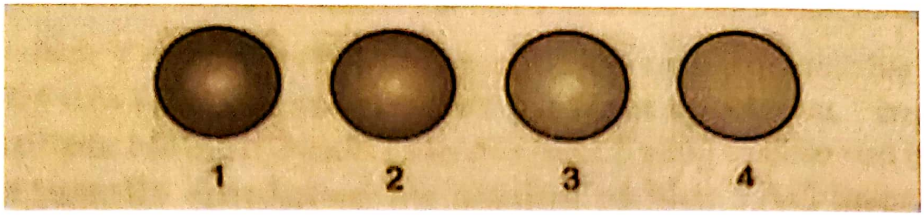


Figura 7. Gradația efectelor fotocoagulării la nivelul retinei:
1 ușor; 2 mediu; 3 moderat; 4 puternic.

Descrierea lor poate fi făcută astfel:

- Gradul 1 – ușor = o albire abia vizibilă a epiteliului pigmentar retinian
- Gradul 2 – mediu = leziune tulbure, albicioasă ușor vizibilă a epiteliului pigmentar retinian
- Gradul 3 – moderat = leziune opacă, alb-murdară a epiteliului pigmentar retinian
- Gradul 4 – puternic/intens = leziune albă calcaroasă a epiteliului pigmentar retinian.

- Această clasificare are o importanță clinică în funcție de scopul urmărit prin fotocoagulare.
  - De exemplu gradul 1 de fotocoagulare este indicat în fotocoagularea maculară (grid sau focală), iar gradul 3 este intensitatea optimă pentru realizarea panfotocoagulării, barajul rupturilor retiniene și al vaselor anormale.
- Efectele fotocoagulării la nivelul vaselor sanguine retiniene sunt clasificate de la I la IV.
  I = constricție minimă a vasului
  II = spasm total al vasului
  III = spasm total al vasului și coagularea țesutului vecin
  IV = spasm total al vasului cu întreruperea traiectului și coagularea țesutului vecin

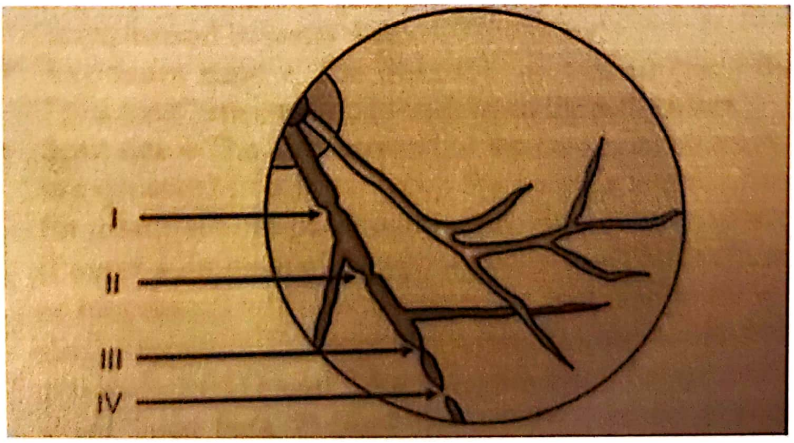


Figura 8. Fotocoagularea vasculară I–IV.

- Lumina LASER, monocromatică, este absorbită de pigmentul melanic, de pigmentul xantofil și de hemoglobină. În timp ce melanina absoarbe

Scanned with OKEN Scanner

lumina LASER cu lungimi de undă între 400–700nm, pigmentul xantofil din mașulă și hemoglobina sunt mai selectivi [2].

- **Melanina** este principalul pigment care absoarbe lumina LASER în rețeaua trabeculară și la nivelul epiteliului pigmentar retinian (melanozomi) și coroida (melanocite). Cu cât lungimea de undă este mai lungă cu atât „arsura" LASER este mai profundă [6].
  - Astfel, LASER-ul Argon (514,5 nm) și ND:Yag (532 nm) sunt absorbiti la nivelul EPR și coriocapilare în timp ce LASER-ul Krypton roșu (647 nm) și diode (810 nm) produc leziuni mai profunde până în coroidă.
- **Pigmentul xantofil** prezent în straturile plexiform intern și extern de la nivelul maculei absoarbe maxim lumina albastră și foarte slab lumina verde. Astfel, LASER-ul albastru–verde argon produce leziuni nedorite maculare. **Pentru tratamentul afecțiunilor maculare este preferat LASER-ul argon verde (514 nm) și Nd:YAG (532 nm)** [6].
- **Hemoglobina** absoarbe lumina albastră, verde și galbenă în mod substanțial și foarte slab lumina roșie [6].

Tehnici de fotocoagulare: izolat, focal, grilă, pantofotocoagulare, abordarea neovaselor, baraj profilactic, FC în tumori.

Tipuri de LASER utilizați în fotocoagulare

Nd: YAG: iridotomie, capsulotomie, trabeculoplastie (SLT)
Nd: YAG dublat în frecvență: retină
Argon: retinian, iridotomie, iridoplastie, trabeculoplastie (ALT)
Excimer: chirurgie refractivă corneană
Femtosecond: FLACS, SMILE
Subthreshold: ciclodistrucție, edem macular

1. LASER Argon cu unda continuă verde (514,5 nm)

LASER-ul Argon (λ = 514/488 nm)

- Este absorbit selectiv de EPR, hemoglobină, coriocapilare, celulele cu conuri și bastonașe, straturile nucleare intern și extern; este absorbit de granulele de melanină
- **Realizează o coagulare de la nivelul coriocapilarelor până la stratul nuclear intern al retinei astfel este utilizat pentru fotocoagularea epiteliului pigmentar retinian, coroidă și vasele de sânge.**
- LASER-ul Argon (cu lungimea de undă de 514 nm, în spectrul luminii verzi și de 488 nm, în spectrul luminii albastre) este un tip de LASER cu efect fototermic cu aplicații atât în polul posterior, cât și în polul anterior. Fenomenul fototermic cuprinde două componente: cea de fotocoagulare și cea de fotovaporizare; **LASER-ul Argon generează numai efectul de fotocoagulare.**
- În mod clasic, LASER-ul Argon emite simultan atât în spectrul verde, cât și în spectrul albastru.

Scanned with OKEN Scanner

- acest lucru aduce cu sine principalul inconvenient al acestui tip de LASER: componenta spectrală albastră (cea de 488 nm) dispersează intraocular şi afectează pigmenţii xantofili ai maculei, generând leziuni maculare în absenţa unei erori de tehnică [18].
- LASER-ele cu Argon moderne emit numai în spectrul verde (514 nm), depăşind astfel această limitare a modelelor vechi.
- aplicaţiile clinice sunt aceleaşi ca pentru orice alt LASER care induce fotocoagulare (ex: LASER-ul Nd: YAG dublat în frecvenţă).

IRIDOPLASTIA PERIFERICĂ

- Acest tip de intervenţie se practică, prin excelenţă, în sindromul de iris în platou sau în caz de sinechii iriene periferice. Scopul său este de a lărgi unghiul camerular prin corecţia irisului periferic indusă de arsurile LASER [19]. Uzual, se efectuează cu LASER-ul Argon, dar poate fi efectuată şi cu LASER-ul Nd: YAG dublat în frecvenţă.
- După mioza prealabilă şi aplicarea de anestezie topic, sub formă de colir sau gel, pacientul este aşezat la microscop. Se aplică o substanţă de cuplaj (ex: metilceluloză sau Carbomer 90) în concavitatea lentilei de iridotomie/ iridoplastie şi se aplică lentila pe ochiul pacientului. Se verifică setările aparatului înainte de a începe procedura.

Setările standard pentru iridoplastie sunt:
- durata spotului: 200–500 ms
- dimensiunea spotului: 200–500µm
- puterea: 150–300 mW

- Spotul de ghidaj al LASER-ului este focalizat pe irisul periferic puţin urcând pe reţea trabeculară, iar apoi LASER-ul este acţionat de către operator printr-un buton aflat în vârful microvizei sau printr-o pedală.
  - Se urmăreşte contracţia ţesutului irian fără apariţia microbulelor de cavitaţie sau dispersie pigmentară, ajustându-se puterea LASER-ului după caz.
- Se poate trata într-o şedinţă întreaga circumferinţă iriană sau numai jumătate din aceasta. Spoturile se pot pune cu unul sau cu două spoturi libere între ele.
- Tratamentul post-procedural constă în colir antiinflamator nesteroidian şi tratament hipotonizant ocular (colir sau per os).

Complicaţii ale iridoplastiei LASER:
- Hipertonie oculară
- Uveită, prin ruperea barierei hemato-apoase, cu sau fără formarea de sinechii iriene periferice (SIP).

Scanned with OKEN Scanner

LASER-ul Nd: YAG dublat în frecvență ($\lambda = 532$ nm)

- Este absorbit mult mai tare de hemoglobina și melanina de la nivelul EPR și a rețelei trabeculare decât LASER-ul argon.
- **El coagulează de la nivelul coriocapilarelor până la stratul nuclear extern al retinei.**
- Are avantajul că realizează o coagulare cu minimă transmisie de energie și oferă astfel o siguranță mai mare pentru tratamentul afecțiunilor maculare. **Este cel mai utilizat în prezent pentru fotocoagularea segmentului posterior** [8].
- LASER-ul Nd: YAG dublat în frecvență (prin intermediul unui cristal de KTP, potasiu-titanil-fosfat) este un tip de LASER cu efect **fototermic** cu aplicații atât în polul anterior, cât și în polul posterior al ochiului.
  - fenomenul fototermic cuprinde două componente: cea de fotocoagulare și cea de fotovaporizare;
  - **LASER-ul Nd: YAG dublat în frecvență generează numai efectul de fotocoagulare.**
- În timpul fotocoagulării retiniene, energia LASER este absorbită, în principal, de melanina prezentă în EPR (epiteliul pigmentar retinian), coroidă și de hemoglobina din sânge. Atunci când energia LASER este absorbită de EPR, aceasta este transformată în căldură.
  - pe măsură ce temperatura crește peste 65 grade Celsius, proteinele se denaturează și apare necroza de coagulare
  - efectul clinic observat este apariția unei zone albe cu extensie până la nivelul retinei neurosenzoriale, care se va transforma într-o cicatrice.
- Aplicațiile clinice sunt:
  - panfotocoagularea din retinopatia diabetică
  - fotocoagularea din ocluzii vasculare retiniene sau edemul macular diabetic
  - fotocoagularea retiniană a rupturilor
  - iridoplastia periferică
  - trabeculoplastia selectivă
  - iridotomia.

FOTOCOAGULAREA RETINIANĂ

- Acest tip de intervenție se poate practica în mai multe situații patologice unde este necesară fie reducerea stimulului ischemic retinian, fie blocarea unui vas care exsudează, fie blocarea unei rupturi retiniene.
- După midriaza prealabilă și aplicarea de anestezic topic, sub formă de colir sau gel, pacientul este așezat la microscop. Se aplică o substanță de cuplaj (ex: metilceluloză sau Carbomer 90) în concavitatea lentilei de contact și se aplică lentila pe ochiul pacientului. Se verifică setările aparatului înainte de a începe procedura.

Scanned with OKEN Scanner

- Setările standard pentru fotocoagulare sunt:
  - durata spotului: 100–200 ms
  - dimensiunea spotului: 100–500 μm
  - puterea: 250–750 mW
- Spotul de ghidaj al LASER-ului este focalizat în retina periferică și se testează eficiența acestuia prin evaluarea vizuală subiectivă a arsurii create. Apoi, se practică tratamentul zonei de interes (panfotocoagulare, fotocoagulare focală, baraj LASER al unei rupturi retiniene).
- Pentru **panfotocoagulare,** spoturile LASER se plasează în afara arcadelor vasculare, la distanță de papilă și cu distanță de un spot între ele.
- **Fotocoagularea focală** se practică direct pe vasele care exudează, investigate în prealabil prin angiofluorografie (AFG).
- **Barajul LASER** al unei rupturi retiniene se face circumferențial în jurul acesteia cu 2–3 rânduri de spoturi.

Complicații ale fotocoagulării retiniene LASER:
- atingeri ale corneei sau cristalinului cu LASER-ul
- fotocoagulare în zona maculară
  - edem macular
  - scotoame post-LASER
- hemoragii retiniene sau vitreene
- edem coroidian
- atrofie și subțiere retiniană (cu sau fără lărgire ulterioară a leziunilor)
- neovascularizație subretiniană sau coroidiană
- fibroză subretiniană
- pierdere progresivă a câmpului vizual.

TRABECULOPLASTIA LASER

- Acest tip de intervenție se poate practica cu rol de terapie de primă intenție sau adjuvantă în glaucomul cu unghi deschis, cu scopul de a scădea presiunea intraoculară prin creșterea drenajului umorului apos prin rețeaua trabeculară.
  - Studii recente încearcă să stabilească rolul acestei proceduri și în glaucomul primitiv prin închiderea unghiului [15].
- Mecanismul prin care această procedură duce la creșterea efluxului de umor apos nu este complet înțeles în acest moment.
- Trabeculoplastia LASER are două modalități clinice în care poate fi efectuată:
  - cu ajutorul LASER-ului YAG dublat în frecvență, numită trabeculoplastie selectivă, SLT (selective LASER trabeculoplasty), datorită absorbției selective a energiei LASER de către trabeculocitele pigmentate, fără a induce leziuni colaterale
  - cu ajutorul LASER-ului Argon, ALT (*Argon LASER Trabeculoplasty*).

Scanned with OKEN Scanner

- Efectul procedurii, indiferent de modalitatea de tratament aleasă, scade în timp. Într-un studiu, la 5 ani după SLT, 27,6% din ochi au avut nevoie de tratament suplimentar [16].

Trabeculoplastia LASER selectivă

- După aplicarea de anestezic topic, sun formă de colir sau gel, pacientul este așezat la microscop. Se aplică o substanță de cuplaj (ex: metilceluloză sau Carbomer 90) în concavitatea lentilei de trabeculoplastie și se aplică lentila pe ochiul pacientului. Se verifică setările aparatului înainte de a începe procedura.
- Ca la capsulotomia LASER YAG, singurele setări pe care le putem modifica la acest LASER sunt puterea (mJ) și offset-ul (μm), deoarece acestea au dimensiunea spotului (400μm) și durata impulsului (3ns) fixate din construcție.
- Pentru trabeculoplastie, puterea cu care se începe, de regulă, tratamentul LASER este de 1.0mJ. Aceasta poate fi scăzută dacă rețeaua trabeculară este deosebit de pigmentată. Cu cât este mai mult pigment disponibil pentru a interacționa cu LASER-ul, cu atât este necesară mai puțină energie.
- Spotul de ghidaj al LASER-ului este focalizat pe întreaga rețea trabeculară, iar apoi LASER-ul este acționat de către operator printr-un buton aflat în vârful microvizei sau printr-o pedală. Se urmărește apariția microbulelor de cavitație la nivelul trabeculului, ajustându-se puterea LASER-ului după caz.
- Se poate trata într-o ședință întreaga rețea sau numai jumătate din aceasta. Spoturile se pot pune în continuitate sau cu un spot liber între ele.
- Tratamentul post-procedural constă în colir antiinflamator nesteroidian și tratament hipotonizant ocular (colir sau per os).

Complicații ale trabeculoplastiei LASER:

- Hipertonie oculară
- Uveită, prin ruperea barierei hemato-apoase, cu sau fără formarea de sinechii iriene periferice (SIP)
- Rară, activarea unui proces infecțios herpetic

2. *LASER-ul Krypton roșu* (647 nm)

- acționează la nivelul granulelor melanice dar nu este absorbit de Hb și pigmentul xantofil macular de aceea este în mod predominant utilizat pentru tratamentul leziunilor maculare și a membranelor neovasculare subretiniene.
- realizează o coagulare profundă până în coroidă, dar nu are efect pe vasele retiniene.

Scanned with OKEN Scanner

Este mai puţin absorbit de EPR şi astfel este transmis până la nivelul coriocapilarelor şi coroidei.

3. ***LASER-ul Diodă*** (810 nm) – este un LASER cu cost scăzut, portabil, mic.
   - este cel mai important LASER cu semiconductori şi oferă un confort sporit pacienţilor datorită absenţei luminii strălucitoare.
   - datorită penetrării adânci în coroidă, este mai dureros dacă intensitatea nu este redusă corespunzător.

4. ***LASER-ii cu lumină albastră*** nu ar trebui utilizaţi pentru fotocoagularea maculară deoarece pigmentul xantofil absoarbe lumina albastră maxim şi astfel se produc leziuni nedorite ale straturilor profunde retiniene.
   - La persoanele în vârstă cristalinul absoarbe lumina albastră.

B. FOTOVAPORIZAREA

- Acest efect LASER poate fi obţinut printr-o iradiere LASER mai mare decât cea folosită pentru fotocoagulare. Ca rezultat, temperatura ţesuturilor poate atinge nivelul de fierbere al apei şi apoi disiparea vaporilor de apă cauzează disrupţia ţesuturilor [2]. Acest efect poate fi folosit pentru tăierea ţesuturilor care implicit presupune şi cauterizarea lor (hemostaza).

C. FOTOABLAŢIA

- Acest efect apare fără a se produce o creştere a temperaturii ţesuturilor, practic are loc o distrugere a legăturilor chimice care ţin ţesutul legat. Ţesutul ţintă poate fi îndepărtat strat după strat, cu mare precizie, şi cu influenţa minimă asupra ţesuturilor vecine, mult mai bine decât orice bisturiu [12].
  - Fotoablaţia cu LASER excimer Argon Fluorid (193 nm ultraviolet) are o predictibilitate de ablaţie superioară faţă de LASER-ul excimer krypton fluoride (KrF) utilizat în lasik/lasek [13].
  - Cu fiecare puls al radiaţiei LASER o largă arie din cornee este ablaţionată de exemplu fiecare spot LASER îndepărtează în medie 0,1 mm de ţesut corneean.
  - Ablaţia uniformă depinde şi de calităţile ţesutului de exemplu de cantitatea de colagen din cornee care diferă în funcţie de altitudine, presiunea atmosferică, umiditate, vârstă.

Scanned with OKEN Scanner

D. FOTOIRADIERE

- În fotoiradiere ţesutul tumoral tratat în prealabil cu o substanţă fotosensibilizantă este expus la o lumină LASER roşie cu lungimea de undă de 630 nm şi are loc emisia de oxygen cu efect cytotoxic care distruge ţesutul. În mod asemănător este terapia fotodinamică cu Verteporfina care se acumulează preferenţial în vasele de sânge mici şi anormale din membrana neovasculară coroidiană şi apoi sub acţiunea LASER-ului care emite la 689 nm se produce trombozarea şi ocluzia neovaselor coroidiene.

E. FOTODISRUPŢIA

- Temperatura ţesutului creşte de la 37 la 1500 grade Celsius ceea ce duce la acest efect microscopic de tăiere a ţesutului, fotodisrupţia este un efect mecanic. Un exemplu de fotodisrupţie este capsulotomia posterioară cu LASER-ul Yag (1064 nm infraroşu).

LASER-ul ND: YAG (Λ = 1064 NM)

- LASER-ul Nd: YAG (Yttrium-Aluminum-Garnet îmbogăţit cu Neodim) este un tip de LASER cu efect **fotoionizant** cu aplicaţii în polul anterior al ochiului. Fenomenul de fotodisrupţie (sau fotoionizant) este caracterizat de îndepărtarea electronilor moleculelor constituente ale ţesutului pe care se aplică LASER-ul cu generarea unei unde de şoc care va distruge ţesutul.
  - Aplicaţiile clinice sunt: capsulotomia şi iridotomia.

CAPSULOTOMIA LASER YAG

- Acest tip de intervenţie se practică în caz de **opacifiere a capsulei posterioare** după intervenţia de cataractă, fenomen care apare prin proliferarea şi migrarea celulelor epiteliale cristaliniene, de obicei, la 2 ani după intervenţia chirurgicală [12].
  - după midriaza prealabilă şi aplicarea de anestezic topic, sub formă de colir sau gel, pacientul este aşezat la microscop. Se aplică o substanţă de cuplaj (ex: metilceluloză sau Carbomer 90) în concavitatea lentilei de capsulotomie şi se aplică lentila pe ochiul pacientului. Se verifică setările aparatului înainte de a începe procedura.

Scanned with OKEN Scanner

- singurele setări pe care le putem modifica la un LASER YAG sunt puterea (mJ) şi decalajul (*offset*) (µm), deoarece acestea au dimensiunea spotului (400 µm) şi durata impulsului (3ns) fixate din construcţie.
  - *offset*-ul sau decalajul reprezintă corecţia pe care fsciculul LASER o va face faţă de punctul focal al LASER-ului de ghidaj. Acesta poate fi setat astfel încât LASER-ul YAG să focalizeze anterior sau posterior de LASER-ul de ghidaj. Recomandarea este ca offset-ul să fie setat pe o valoare pozitivă (+), astfel încât unda de şoc să se creeze mai posterior decât punctul focal al LASER-ului ghid, dar acest lucru depinde de preferinţa operatorului.

- Pentru capsulotomie, puterea cu care se începe, de regulă, tratamentul LASER este de 2,0 mJ. Aceasta poate fi crescută dacă există fibroză a capsulei posterioare.
- Spotul de ghidaj al LASER-ului este focalizat pe capsula posterioară, iar apoi LASER-ul este acţionat de către operator printr-un buton aflat în vârful microvizei sau printr-o pedală.
  - operatorul poate alege să taie capsula posterioară în mai multe forme. Nu este dovedită superioritatea unei forme în detrimentul celorlalte şi, deci, acest lucru rămâne la latitudinea operatorului.
    - formele uzuale sunt: cruce, cerc complet sau cerc incomplet („U" inversat)
    - forma de cruce se pretează în cazurile simple de opacifiere a capsulei posterioare, fără fibroză, cu elasticitate a capsulei păstrată. O dată lizată capsula în această formă, marginile acesteia se retractă şi eliberează centrul optic. Această formă de capsulotomie, deşi cea mai rapid de executat, este şi cea mai riscantă din cauza traversării centrului optic al pseudofakului cu impulsurile LASER.
    - forma de cerc complet va tăia în totalitate capsula posterioară şi o va lăsa flotantă în vitrosul anterior. Concomitent, se practică şi vitreoliză anterioară pentru a elibera centrul optic. Ulterior, unii pacienţi se pot plânge de miodezopsii, dar acesta este un fenomen rar dacă resturile capsulare au fost eliberate de aderenţele vitreene [13].
    - forma de cerc incomplet lasă o balama inferioară (la ora 6), unde capsula va rămâne ataşată cu scopul de a limita incidenţa miodezopsiilor.
- Tratamentul post-procedural constă în colir antiinflamator nesteroidian şi tratament hipotonizant ocular (colir sau per os).

Complicaţii ale capsulotomiei LASER

- „Pitting" sau indentarea pseudofakului cu energia LASER
- Hipertonie oculară
- Modificări refractive, de regulă, hipermetropie prin mişcarea posterioară a pseudofakului
- Subluxaţia pseudofakului, de regulă, la cele din hidrogel
- Uveită, prin ruperea barierei hemato-apoase
- Decolare de retină, prin tracţiunea vitreană indusă

Scanned with OKEN Scanner

- Rar, activarea unui proces infecțios cloazonat în sacul cristalinian; de regulă, de tip endoftalmită cronică; de regulă, cu *Cutibacterium acnes* (în trecut, *Propionibacterium Acnes)*.

IRIDOTOMIA LASER

- Acest tip de intervenție se practică cu rol profilactic sau terapeutic în ochii cu risc de închidere a unghiului (primară sau secundară) prin mecanism de bloc pupilar.
- Procedura se poate efectua atât cu LASER-ul Nd: Yag, cât și cu un LASER fotocoagulant (Nd: YAG dublat în frecvență sau Argon), cât și cu o combinație între ele [14].
- După mioza prealabilă și aplicarea de anestezic topic, sub formă de colir sau gel, pacientul este așezat la microscop. Se aplică o substanță de cuplaj (ex: metilceluloză sau Carbomer 90) în concavitatea lentilei de iridotomie și se aplică lentila pe ochiul pacientului. Se verifică setările aparatului înainte de a începe procedura.
  - pentru iridotomie, puterea cu care se începe, de regulă, tratamentul LASER este de 4,0 mJ. Aceasta poate fi crescută dacă nu se reușește penetrarea stromei iriene.
  - Spotul de ghidaj al LASER-ului este focalizat într-o criptă din periferia iriană, în cadranul superior, iar apoi LASER-ul este acționat de către operator printr-un buton aflat în vârful microvizei sau printr-o pedală.
  - Se aplică spoturi de LASER, evitându-se vasele iriene pe cât posibil, până se penetrează atât stroma, cât și epiteliul pigmentar irian (fața posterioară a irisului). În momentul penetrării complete, se poate observa eflux de umor din camera posterioară în camera anterioară în situația în care preprocedural exista un gradient presional între cele două. Iridotomia se va lărgi pentru a minimiza șansele de ocluzie ulterioară.
- Tratamentul post-procedural constă în colir antiinflamator nesteroidian și tratament hipotonizant ocular (colir sau per os).

Complicații ale iridotomiei LASER:

- Atingeri ale corneei sau cristalinului cu LASER-ul
- Hemoragie din vasele iriene, hifemă
- Hipertonie oculară
- Închiderea iridotomiei
- Disfotopsii, dacă iridotomia este prea mare și prea centrală
- Rar – accelerarea progresiei cataractei
  - glaucom malign

Scanned with OKEN Scanner

LASER-ul CU EXCIMERI (Λ = 193 NM)

LASER-ul cu excimeri (dimeri excitaţi) este un tip de LASER cu efect **fotochimic** cu aplicaţii în polul anterior al ochiului.

- dimerul folosit de obicei în LASER-ele din oftalmologie este ArF (fluorura de Argon).
- fenomenul de fotoablaţie este caracterizat de fragmentarea polimerilor cu lanţ lung în componente mici şi volatile
- aplicaţiile clinice sunt multiplele forme de chirurgie refractivă corneană.

LASIK – LASER IN SITU *KERATOMILEUSIS*

- LASIK-ul este o procedură refractivă corneană care constă în aplicarea energiei LASER-ului cu excimeri direct în stroma corneană, după efectuarea unui lambou cornean prin intermediul unui microkeratom (sau femtolaser).
- Indicaţii pentru LASIK sunt toate ametropiile în anumite limite.

Contraindicaţii generale pentru chirurgie refractivă corneană:

- comorbidităţi sistemice de tip diabet zaharat necontrolat sau boli autoimune, din cauza riscului crescut de keratoliză (melting cornean)
- ectazii corneene, keratoconus (manifest sau *forme fruste*)
- distrofii corneene stromale
- retinopatie diabetică
- ochi uscat sever
- distrofia endotelială Fuchs
- ochi unici
- keratopatie neurotrofică
- femei însărcinate sau care alăptează
- pacienţi pediatrici, sub 18 ani
- keratită virală activă în ultimele 6 luni
- distrofia membranei bazale epiteliale

Tehnică

- Înainte de fiecare pacient, LASER-ul trebuie calibrat de către tehnician, conform cu instrucţiunile fabricantului.
- Decizia preoperatorie referitoare la cantitatea de ablaţie (dioptriile care vor fi introduse în programul LASER-ului), diametrul zonei optice şi profilul de ablaţie care se vor folosi se bazează pe nomograme şi pe experienţa chirurgului.
- Pacientului i se administrează anestezie topică, este aşezat pe masa LASER-ului, i se face un câmp chirurgical steril şi se montează blefarostatul.

Scanned with OKEN Scanner

- Următorul pas constă în crearea lamboului (flap) cornean cu ajutorul microkeratomului cu vacuum. Pentru a facilita repoziționarea ulterioară a lamboului, se marchează radiar periferia corneană cu un marker cu violet de Gențiana. După aplicarea vacuumului și pasajul microkeratomului, lamboul va rămâne atașat într-un cadran, formând balamaua (*hinge*). Apoi, lamboul este ridicat și răsfrânt, expunându-se stroma corneană.
- Pasul următor constă în aplicarea energiei LASER prin acționarea unei pedale. La finalul programului, chirurgul îndepărtează detritusul creat prin irigație, repoziționează lamboul și aplică o lentilă de contact terapeutică.

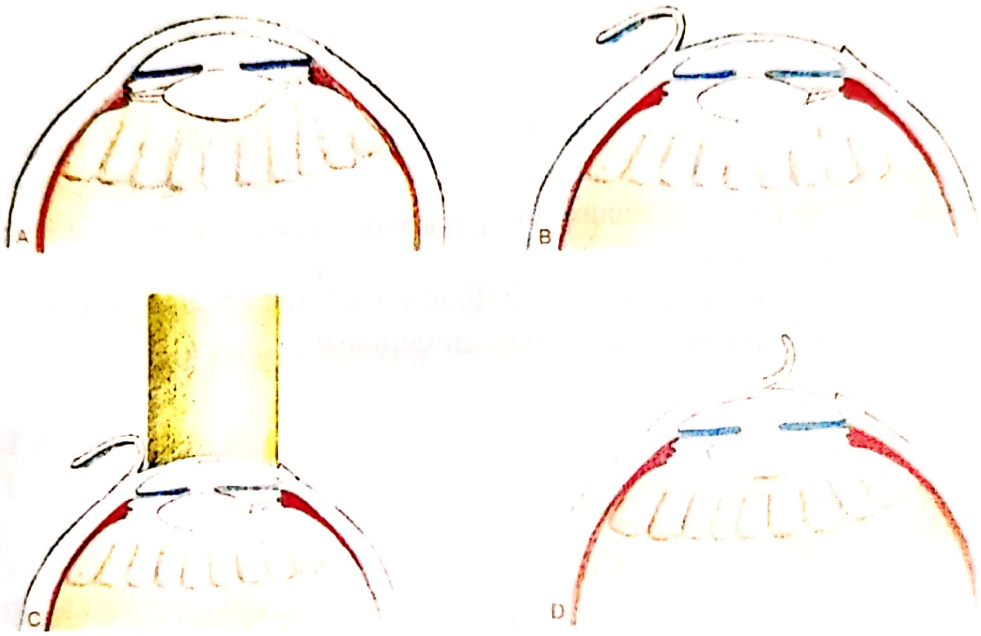


Figura 9. A. Preoperator. B. Flap-ul răsfrânt. C. Fasciculul LASER-ului cu excimeri. D. Repoziționarea flap-ului.

Management post-procedural

- Tratamentul standard post-operator constă în antibioprofilaxie, antiinflamator steroidian și lubrifianți. Pentru LASIK în special, este important ca suprafața corneană să fie bine lubrifiată pentru a preveni descentrări ale flap-ului.

Complicații

- sub- sau supra-corecția
- inducerea de aberații optice
- descentrări ale zonei ablate
- keratopatie toxică centrală
- keratită infecțioasă
- defect epitelial
- striuri ale flap-ului
- dislocări ale flap-ului
- keratită difuză lamelară, „Sands of Sahara syndrome" [9].

Scanned with OKEN Scanner

KERATECTOMIA FOTOTERAPEUTICĂ

- Keratectomia fototerapeutică (PTK – *phototherapeutic keratectomy*) este o procedură LASER efectuată prin intermediul LASER-ului cu excimeri eficientă pentru o varietate de afecțiuni ale suprafeței corneene.
- Diagnostice care pot beneficia de această modalitate de tratament sunt:
  - neregularități ale suprafeței corneene
  - instabilitatea epiteliului cornean
  - leucoame corneene centrale [21].

Indicații:
- degenerescența sferoidală
- degenerescența nodulară Salzmann
- keratopatia în bandă
- sindromul de eroziune recurentă
- keratopatia buloasă
- distrofii corneene anterioare (epiteliale sau ale membranei Bowman)
- leucoame post-traumatice sau post-infecțioase

Contraindicații:
- leucoame mai adânci de 10–20% din grosimea corneei
- toate celelalte contraindicații enumerate la LASIK

Tehnică
- De regulă, procedura se efectuează sub anestezie topică dacă este efectuată singură. După aplicarea blefarostatului, epiteliul este îndepărtat manual sau prin intermediul LASER-ului.
  - după acest pas, se efectuează ablația prin centrarea LASER-ului pe leziune. Acest lucru poate fi dificil în leziuni excentrice.
  - în situația în care scopul intervenției este regularizarea suprafeței corneene, o substanță vâscoelastică (metilceluloză) poate fi folosită pentru a bloca efectul LASER-ului în zonele mai declive, permițându-i acestuia să acționeze pe „vârfurile" lăsate expuse.
  - astfel, prin multiple cicluri de aplicări de metilceluloză și aplicare de energie LASER, corneea poate fi regularizată în mod satisfăcător.

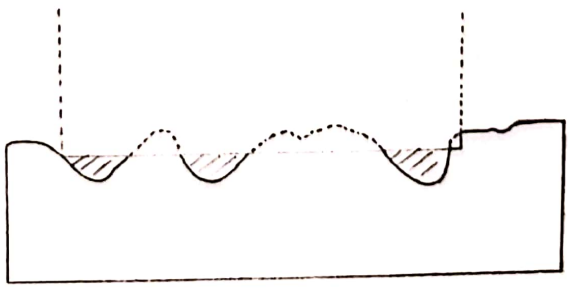


Figura 10. Schiță a unei cicatrici la nivel microscopic cu neregularitate a interfeței. Utilizarea metilcelulozei permite mascarea „văilor" și expunerea numai a „vârfurilor" pentru a fi ablate de LASER.

Scanned with OKEN Scanner

Management post-procedural

- În perioada post-operatorie, trebuie prevenită întârzierea vindecării epiteliale, căci acest lucru poate duce la opacifiere stromală sau keratită infecțioasă.
  - se folosesc lentile de contact terapeutice însoțite de antibioprofilaxie și lubrifianți.
  - PTK este o procedură însoțită de durere în perioada post-operatorie, motiv pentru care se folosesc coliruri cu antiinflamatoare nesteroidiene. Efectul acestora asupra întârzierii epitelizării s-a dovedit a fi minim.
  - după vindecarea defectului epitelial și îndepărtarea lentilei de contact terapeutice, se poate începe tratamentul topic steroidian timp de o lună cu o frecvență inițială de 4 ori pe zi, cu descreștere săptămânală.

Complicații

- recidivă a patologiei inițiale
- keratită infecțioasă
- reactivare a unei keratite herpetice
- defect epitelial persistent
- opacifiere corneană
- rejet (în cazul în care corneea era transplantată).

5. LASER-UL în femtosecunde ($\lambda = 1053$ nm)

- LASER-ul în femtosecunde este un tip de LASER cu efect fotoionizant cu aplicații în polul anterior al ochiului. Fenomenul de fotodisrupție este similar cu cel întâlnit în LASER-ul Nd: YAG cu semnificativă diferență de durată a impulsului.
  - LASER-ul Nd: YAG are o durată a impulsului de ordinul nanosecundelor (10^{-9} secunde), pe când acesta are o durată a impulsului de ordinul femtosecundelor (10^{-15} secunde).
  - această proprietate minimizează leziunile tisulare colaterale ale energiei LASER și îl face adecvat pentru efectuarea inciziilor corneene sau cristaliniene [22].
- Aplicațiile clinice sunt:
  - crearea de tunele intracorneene: incizii pentru intervenția de cataractă, femto-LASIK, keratotomia anti-astigmatică, segmente intrastromale corneene, FLEx (*Femtosecond Lenticule Extraction*), SMILE (*Small-Incision Lenticule Extraction*),
  - capsulotomia și fragmentarea nucleului în cadrul intervenției de cataractă asistată de femtolaser: FLACS (*Femtosecond-LASER-Assisted Cataract Surgery*).

6. LASER-ul subthreshold

- **LASER-ul subthreshold** („sub prag") reprezintă orice formă de LASER cu efect fotocoagulant care, în momentul aplicării pe un țesut, creează modificări invizibile clinic în acel țesut.

Scanned with OKEN Scanner

  - complicațiile asociate LASER-ului convențional au dus la creșterea interesului pentru acest tip de LASER, cu scopul de a dezvolta o procedură cu un profil de siguranță mai bun.
- **LASER-ul subthreshold micropulsat** reprezintă o metodă inovativă de tratament al patologiilor retiniene care și-a dovedit eficiența în tratamentul edemului macular [23].
  - caracteristica LASER-ului de a aplica energia sub formă de micropulsuri cu durată de ordinul microsecundelor (10^{-6} secunde) îi oferă capacitatea de a nu induce leziuni termice sau cicatrizare.
  - în plus, acesta are un ciclu cu „off"-time foarte lung, de 90%, ceea ce limitează creșterea energiei termice, disiparea acesteia în țesutul adiacent și permite răcirea țesutului tratat, înainte de următorul impuls.
  - astfel, leziunile colaterale și necroza de coagulare, determinate de acumularea și amplificarea energiei termice, sunt practic eliminate.
- Acest mod de aplicare a energiei LASER a fost integrat ***în LASER-ul cu diodă*** ($\lambda = 810$ nm) și ***LASER-ul cu lumină galbenă*** ($\lambda = 577$ nm)
  - aplicațiile clinice sunt: tratamentul edemului macular, corioretinopatia seroasă centrală, glaucom refractar.

UTILIZAREA LASER-ilor ÎN SCOP DIAGNOSTIC

Pe lângă indicațiile sale terapeutice, emisia LASER poate fi utilă în probleme de diagnostic și prognostic în oftalmologie. Fascicolul LASER posedă în fapt proprietățile optice generale ale tuturor radiațiilor luminoase având în plus avantajul coerenței sale temporale și spectrale.

Oftalmoscopia LASER scan (Scanning LASER ophthalmoscopy SLO)

- A fost inventată de Robert Webb și George Timberlake[3]. Un fascicul mic LASER iluminează retina și lumina reflectată în fiecare punct este măsurată. Gradul de reflectare depinde de proprietățile fizice ale țesutului adică de proprietățile lui de reflecție, refracție și absorbție. Opacitățile prin care trece lumina LASER: cristalinul cataractat, hemoragia in vitros sau hemoragii retiniene influențează gradul de reflecție al luminii înapoi către observator dar pentru că SLO folosește lumina LASER care este o lumină coerentă, imaginea produsă are o mare rezoluție decât o achiziție convențională. De asemenea, pentru că este iluminat un singur punct la un anumit moment, scanarea este lipsită de discomfort pentru pacient și totodată permite obținerea unei achiziții în timp real, cu rezoluție înaltă. Deoarece se utilizează o lumină LASER cu lungime de undă unică, imaginile obținute sunt monocromatice.
- Angiografia SLO poate fi efectuată după injectarea intravenoasă de fluoresceină sau verde de indocianină pentru studiul circulației retiniene și coroidiene.

Scanned with OKEN Scanner

- Microperimetria SLO este o tehnică care utilizează lumina LASER prin variația intensității luminii LASER și prin care se obține o hartă extrem de exactă a câmpului vizual macular [5].

Tomografia în coerența optică (OCT)

- Această tehnică de diagnostic în oftalmologie, larg utilizată în zilele noastre are la bază un LASER diodă în infraroșu (810nm) pentru a produce imagini de rezoluție înaltă ale retinei prin interferometrie coerentă. Această interferometrie coerentă are ca principiu împărțirea în două fascicule a luminii LASER cu ajutorul unei oglinzi parțial reflective. Astfel se obține un fascicul de referință și unul care străbate straturile retinei de la neuroepiteliu până la coroidă știut fiind că straturile retinei sunt transparente pentru lumina în infraroșu de la NE până la EPR și coriocapilare. La nivelul interfețelor optice lumina LASER este reflectată înapoi spre fotodetector.
- Pe de altă parte fasciculul de referință este și el reflectat de o oglindă de referință aflată la o distanță cunoscută față de locul unde s-a produs divizarea fasciculului incident. Poziția acestei oglinzi de referință poate fi ajustată astfel încât „drumul" parcurs de cele două fascicule divizate – cel de referiță si cel care străbate țesuturile retiniene să fie egal. În acest moment se produce o interferență constructivă și aceasta apare ca o zonă strălucitoare în imaginile rezultate [11].
- Fasciculul care măsoară, străbate țesuturile oculare în adâncime și va traversa o distanță mai lungă decât fasciculul de referință și atunci când cele două ajung înapoi și sunt măsurate de fotodetector apare o interferență destructivă [11].

Codajul color la OCT este: culorile strălucitoare roșu-alb sunt intens reflective și corespund țesuturilor cu reflectivitate înaltă. Culorile întunecate albastru-negru corespund țesuturilor puțin reflective.

OCT are o rezoluție de 10 microni [11].

Utilizarea LASER-ilor în scop neterapeutic:

- Explorarea funcțională a vederii
- Electrofiziologie oculară
- Măsurarea dinamicii circulatorii a retinei
- Plasat într-un baston poate fi de mare folos în deplasarea și orientarea nevăzătorilor

BIBLIOGRAFIE

1. Halliday D., Resnik R., Walker J., *Fundamentals of Physics,* Ed 5. New York: Wiley; 1997:1042.
2. L'Esperance FA, *Ophthamic LASERS,* St.Louis: CV Mosby; 1989.
3. Hecht J. *Understanding LASERS: an entry level guide. Piscataway:IEEE*; 1992:142–3
4. Meyer Schwieckerath G. *Development of Photocoagulation.* In March WE, ed. Ophthalmoc LASERS: e second generation. Thorofare: Slack; 1990 13–19.
5. Yanoff M., Ducker S.Jay, Ophthalmologu Second edition 2004 Ed Mosby; 49–56, 783–786.

Scanned with OKEN Scanner

6. Bhattacharyya Bikas, *Step by Step LASER in Ophthalmology,* First Edition:2009, ISBN 978-81-8448-607-0.
7. Jain A,Blumenkranz MS,Paulus Y, *et al. Effect of pulse duration on size and character of the lesion in retinal photo-coagulation.* Arch Ophthalmol 2008;126:78–85.
8. Steven M Bloom, Alexander J Brucker(eds). *LASER Surgery of the Posterior Segment* (2nd ed). Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997.
9. Bhattacharyya B. *Clinical Applications:YAG LASER (Ophthalmology).* New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers(P) Ltd, 2005:9–19.
10. Al-Hussainy S, Dodson PM, Gibson JM. *Pain response and follow-up of patients undergoing panretinal LASER photo-coagolation with reduced exposure times.* Eye 2007;1–4.
11. Ducos de Lahitte Ghislaine, Terrada Celine, *L'OCT en images*, Ed.Med'Com, 2011, 17–22
12. Karahan, E., Er, D. & Kaynak, S. An Overview of Nd:YAG LASER Capsulotomy. *Medical hypothesis, discovery & innovation ophthalmology journal* **3**, 45–50 (2014).
13. Min, J. K., An, J. H. & Yim, J. H. A new technique for Nd: YAG LASER posterior capsulotomy. *International Journal of Ophthalmology* **7**, 345–349 (2014).
14. Lam, D. S. C., Tham, C. C. Y., Congdon, N. G. & Baig, N. Peripheral Iridotomy for Angle-Closure Glaucoma. in *Glaucoma: Second Edition* vol. 2 708–715 (Elsevier Inc., 2015).
15. Matos, A. G., Asrani, S. G. & Paula, J. S. Feasibility of LASER trabeculoplasty in angle closure glaucoma: a review of favourable histopathological findings in narrow angles. *Clinical & Experimental Ophthalmology* **45**, 632–639 (2017).
16. Lai, J. S., Chua, J. K., Tham, C. C. & Lam, D. S. Five-year follow up of selective LASER trabeculoplasty in Chinese eyes. *Clinical and Experimental Ophthalmology* **32**, 368–372 (2004).
17. Chadha, N., Belyea, D. A. & Grewal, S. Herpetic Stromal Keratitis following Selective LASER Trabeculoplasty. *Case Reports in Ophthalmological Medicine* **2016**, (2016).
18. Romero-Aroca, P., Reyes-Torres, J., Baget-Bernaldiz, M. & Blasco-Sune, C. LASER Treatment for Diabetic Macular Edema in the 21st Century. *Current Diabetes Reviews* **10**, 100–112 (2014).
19. Kumar, H. *et al.* LASERS in glaucoma. *Indian Journal of Ophthalmology* vol. 66 1539–1553 (2018).
20. American Academy of Ophthalmology. *2019-2020 Basic and Clinical Science Course, Section 13 Refractive Surgery.* (Amer Academy of Ophthalmo, 2019).
21. Rathi, V., Vyas, S. & Sangwan, V. Phototherapeutic keratectomy. *Indian Journal of Ophthalmology* vol. 60 5–14 (2012).
22. Sun, H., Fritz, A., Dröge, G., Neuhann, T. & Bille, J. F. Femtosecond-LASER-Assisted Cataract Surgery (FLACS). in *High Resolution Imaging in Microscopy and Ophthalmology* 301–317 (Springer International Publishing, 2019). doi:10.1007/978-3-030-16638-0_14.
23. Ma, A., Yu, S.W.Y. & Wong, J.K.W. Micropulse LASER for the treatment of glaucoma: A litera.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 3

FENOMENUL LASER. CLASIFICARE LASER. EFECTE BIOLOGICE ALE LASER-ULUI

MAGDALENA ANIȚESCU

FENOMENUL LASER

LASER-ii sunt surse de radiație electromagnetică ce emit în ultraviolet (UV), vizibil și infraroșu (IR) având drept caracteristici principale:

- direcționalitatea
- monocromaticitatea
- densitate mare de putere.

- Principiul de funcționare al LASER-ilor se bazează pe interacțiunea radiației electromagnetice cu materia în sistem cuantic. Conform acestui sistem, fundamentat de Einstein exista la nivel molecular și atomic nivele discrete de energie datorită cărora interacțiunea sus menționată între radiația incidentă de natură electromagnetică și materie poate evolua în două sensuri:
  - atomul trece pe un nivel energetic superior, absorbind o cantitate de energie pe care o preia de la energia conținută în radiația incidentă.
  - atomul trece pe un nivel inferior prin emisia unei cantități de energie, fenomen ce poartă numele de **emisie stimulată**
  - fenomenul de **emisie spontană** în care trecerea de pe un nivel superior pe unul inferior se face fără ajutorul unei unde e.m. purtătoare de energie, fenomen ce apare probabil datorită stabilității mai mari a sistemului în stare energetică inferioară [23,25].
- Emisiile stimulate apar prin persistența unui câmp e.m. exterior și prin emisia de energie prin trecerea populației electronice de pe un nivel energetic pe altul inferior
  - Pentru ca fenomenul să poată fi observat din exterior (deci să poată fi eventual folosit) trebuie ca această emisie stimulată să fie amplificată prin procedee tip cascadă până la obținerea unui câmp electromagnetic destul de puternic astfel încât să învingă pierderile din sistemele reale cauzate de absorbții parazite.

Scanned with OKEN Scanner

- Plasându-se sistemul cuantic într-un rezonator se realizează această amplificare a radiației spontane (pornindu-se cum am mai văzut de la emisia stimulată) prin crearea unui câmp e.m. staționar cu frecvența egală cu cea de emisie.
- Acest aparat ca principiu de funcționare este LASER-ul – *Light Amplification by Stimulated Emision of Radiation*.
- Elementele componente ale unui LASER sunt [22,21]:
  - *Mediul activ LASER* – reprezintă sistemul cuantic în care au loc procesele fizice ce conduc la amplificare prin emisie stimulată; parametrii LASER-ului; radiației emise, condițiile de excitare, modalități de generare etc. sunt funcție de proprietățile mediului activ. În funcție de starea de agregare mediile active pot fi:
    - solide – mediu transparent de omogenitate optică înaltă ai cărui centri activi pot fi ioni din grupe tranziționale sau formați prin iradiere;
    - lichide – formate din soluții de coloranți organici;
    - gazoase – folosind: – gaze moleculare
      – gaze atomice
      – gaze ionice
      – vapori metalici
  - *Sistemul de pompaj* – reprezintă modul de realizare a inversiunii de populație. Există mai multe modalități:
    - pompaj optic – bazat pe absorbția de radiație optică de pe nivelul fundamental pe nivelul de pompaj; acest mod de pompaj se folosește pentru medii solide sau lichide;
    - ciocniri în urma descărcării în gaze folosite în cazul mediilor gazoase;
    - procese chimice
  - *Rezonatorul optic* – realizează condițiile de amplificare a emisiei stimulate astfel încât fascicolul de lumină să poată ieși în exterior.
- Emisia stimulată ce dă naștere la număr crescut de fotoni nu este eficace decât dacă ciocnirile acestora cu atomi excitați devin din ce în ce mai frecvente; acest lucru se poate obține prelungind traiectul fotonilor în mediul activ prin plasarea acestuia în cavitatea optică. Extremitățile sale sunt limitate de două oglinzi paralele, una fiind semitransparentă. Dispozitivul permite fascicolului fotonic reflexii succesive pe cele două oglinzi care își crește astfel (la fiecare ciocnire cu atomii mediului) energia; ea va atinge în final o anumită valoare maximă permițând fascicolului fotonic să traverseze oglinda semitransparentă creând efect LASER.
- Pentru evitarea pierderilor energetice se preferă în locul oglinzilor clasice oglinzi multistrat dielectric (cu coeficient de reflexie de 99,8%) având suprafețe de reflexie sferice. După cum oglinzile limitante ale rezonatorului sunt plane sau concave se modifică efectul direcțional al fascicolului LASER.

Scanned with OKEN Scanner

CARACTERISTICILE LASER

PROPRIETĂȚILE RADIAȚIEI LASER

- Datorită utilizării rezonatorului optic, radiația LASER câștigă o serie de proprietăți speciale care nu apar în cazul surselor optice obișnuite [32,25].
  - *Directivitatea* – se referă la gradul mic de divergență al fascicolului de raze; ea poate fi de ordinul sub 1 miliard în mod transvers și ceva mai mare pentru multimod. Avantajele acestei proprietăți sunt:
    - radiația poate fi transmisă la distanțe mari cu pierderi nesemnificative;
    - radiația poate fi focalizată în spoturi de ordinul micronilor sau a zecilor de microni.
  - *Monocromaticitatea* – această proprietate derivă din legile mecanicii cuantice. Conform ecuației în care frecvența depinde de lungime de undă, putem afirma că emisia radiației se realizează la o anumită lungime de undă care depinde de diferența de energie între cele două nivele energetice ale mediului activ.
  - *Coerența* această proprietate dă informații despre conservarea câmpului e.m. Există două categorii de coerență a radiației LASER:
    - Coerența spațială care reprezintă păstrarea diferenței de fază între două puncte date în spațiu la orice moment de timp; ea este strâns legată de direcționalitate;
    - Coerența temporală ce reprezintă păstrarea diferenței de fază într-un timp dat indiferent când este măsurat acesta; ea este strâns legată de monocromaticitatea radiației.

LUNGIMEA DE UNDĂ LASER

- În general, datorită proprietății de coerență, emisia LASER este specifică unei singure lungimi de undă.
  - emisia fascicolului de lumină se poate face la mai multe lungimi de undă; în aceste cazuri vorbim de LASER-i acordabili. LASER-ul cu Ar care emite foarte puternic la două lungimi de undă caracteristice cele de 488 și 514 nm. Acest efect poate avea loc datorită existenței populațiilor electronice cu densități neregulate în interiorul mediului activ.

REGIMURI DE EMISIE LASER

- LASER-ii pot emite în regimuri variate. Acestea sunt în funcție de calitățile mediului activ, ale sistemului de pompaj și ale rezonatorului. Regimurile de emisie pot condiționa utilizările specifice ale LASER-ilor de aceea trebuie întotdeauna precizate. În funcție de tipul de emisie distingem:

Scanned with OKEN Scanner

– *Emisie continuă* – se realizează în urma unui pompaj efectuat cu o sursă continuă. Acest mod de emisie este posibil în cazul în care conductibilitatea termică a mediului activ permite disiparea excesului de căldură, exces care provine fie din folosirea incompletă a energiei de pompaj, fie din procesul de relaxare sau absorbții parazite. Emisia continuă este specifică LASER-ilor cu mediu activ gazos și se caracterizează prin impulsuri de durată lungă și putere de emisie mică.
– *Emisia în impulsuri* se poate obține în următoarele situații:
  • pompaj impulsuri, emisie în impulsuri în regim de generare liberă (regim relaxat). În această situație durata impulsului emis depinde de durata pulsului de pompaj și de proprietățile nivelului metastabil al mediului activ. În general pulsul emis durează cam 10 la (-2) până la 10 la (-6) secunde.
  • pompaj în impuls, emisie în impuls în regim constant. Aceasta se realizează prin introducerea în interiorul rezonatorului a unui dispozitiv ce împiedică emisia până la un anumit interval de timp de la începutul pompajului. În această perioadă neputându-se emite nimic, inversarea de populație crește foarte mult astfel că la înlăturarea bruscă a dispozitivului adăugat impulsul se emite cu o durată foarte mică [10 la (-7) până la 10 la (-9) secunde], dar cu un vârf de putere foarte mare. Aparatele LASER ce funcționează pe acest principiu se numesc comutatoare de factor de calitate pentru că ele permit modificarea controlabilă, în timp scurt a factorului de calitate al rezonatorului, această schimbare realizându-se printr-o serie de procese fizice de tipul: modificarea absorbției, deflectarea fascicolului, rotirea planului de polarizare. Comutatorii din aceste dispozitive pot fi pasivi (bazați pe absorbție saturabilă) și activi (electro-optici, acustooptici, mecanici).
  • Pompaj continuu, emisie în impulsuri. Acest regim se realizează prin plasarea în interiorul rezonatorului a unui dispozitiv ce permite pompaj continuu a unui comutator de factor de calitate cu frecvența foarte mare de repetiție. În aceste condiții, emisia se va face în impulsuri cu durata foarte scurtă, de ordinul 10 la (-7) secunde cu puteri de vârf ridicate, de 10–1000 ori mai mari ca puterea LASER-ului în continuu [10].

Tehnicile de pulsare folosite pentru diferite durate de puls includ shuttere electronice (până la 1 ms), lămpi pulsatile (până la câteva μs), *Q Switching* (până la câteva ns) sau *mode-looking* (până la câteva zeci de fs).

PUTEREA DE EMISIE A LASER-ilor

• Aceasta este o variabilă ce se poate întinde pe un interval cuprins între câțiva microwați, ca valoare minimă și miliarde de wați ca valori maxime.

Puterea depinde de natura mediului activ (mai mare la LASER-ul cu CO_2 decât la cel cu Ar) ca și de modul de funcționare. Deși la prima vedere s-ar părea că puterile energiei emise de dispozitivul LASER ar fi echivalente cu cele obținute de

Scanned with OKEN Scanner

la lămpi clasice de tipul lămpii incandescente cu XE, există o serie de caractere esențial diferite între cele două.

- datorită coerenței luminii în fascicolul LASER aceasta se prezintă ca o emisie perfect plană ce conține toată energia emisă. Se poate focaliza această undă, folosind un dispozitiv optic, cu obținerea unei pete minime, punctiformă (pata Airy) unde se găsește concentrată toată energia fascicolului luminos.
- în cazul arcului Xe, unda de emergență nu este niciodată plană (pentru că sursa este necoerentă) astfel încât focalizând cu dispozitivul optic vom obține o pată de dimensiuni mult mai mari ca pata Airy.

CLASIFICARE LASERI

Există mai multe categorii de LASERI clasificați în funcție de diverși parametri ca mediul activ, regim de funcționare, lungime de undă, caracteristici energetice etc. [1,21,26].

A. LASERI al căror principiu de funcționare se bazează pe efectul termic – Cu cât efectul termic local este mai mare, cu atât difuzia energiei în jurul locului de impact este mai redusă. Efectul caloric se manifestă deci, funcție de diverși parametri, de la activitatea proceselor metabolice locale la vaporizare totală. Acest fapt conduce la clasificarea LASER-ilor din punct de vedere al efectului termic în:

- ***LASER pentru biostimulare***
- ***LASER coagulator***
- ***LASER vaporizator***

B. LASERI care au la bază efectul mecanic produs asupra materiei vii. Ei sunt LASERI reci și sunt reprezentați de:

- ***LASER cu excimeri***
- ***LASER cu Yag-Nd***
- ***LASER cu rubin***
- ***LASER cu Er-Tu.***

A. LASERI CE AU LA BAZĂ EFECTUL TERMIC

I. LASERI PENTRU BIOSTIMULARE

- Sunt în general dispozitive ce emit un fascicol ce acționează pe suprafața mare, cu energie mică (de ordinul mW) având lungime de undă nedistructibilă (în general spre capătul roșu al spectrului). Efectul caloric este minim și se traduce printr-o activare a proceselor metabolice intracelulare cel mai probabil al procesului de fosforilare oxidativă, cunoscându-se faptul că o creștere moderată a temperaturii accelerează reacțiile chimice.

Scanned with OKEN Scanner

LASERI cu He-Ne

- Acesta are ca mediu activ un amestec de gaze, atomii acestora putând a fi excitaţi prin descărcare electrică.

LASER cu colorant pompat cu azot

- Acesta foloseşte ca mediu activ unul din coloranţii organici ale căror caracteristici principale sunt: tranziţii de luminiscenţă intensă, bandă largă în domeniul vizibil.
  - Pompajul în acest mediu activ se poate realiza cu un LASER puternic ce emite la o lungime de undă corespunzătoare benzii de absorbţie a colorantului.
  - LASER-ul cu colorant pompat cu azot este un dispozitiv ce emite iniţial impulsuri ce folosesc ca sistem de pompaj un LASER cu azot ce emite în UV.

II. LASERII COAGULATORI

- Îşi bazează efectul terapeutic pe creşterea temperaturii locale cu peste 20 grade, ceea ce atrage după sine o inhibare a metabolismului celular şi moarte celulară prin coagularea proteinelor.

LASERII coagulatori sunt cei mai folosiţi actualmente în tratamentul bolilor de FO.

LASER-ul cu Ar

- Este un LASER ce foloseşte ca mediu activ gazul ionic Ar. El funcţionează în regim continuu pe bază de descărcare în gaze.
- Eficacitatea LASER Ar pentru diverse afecţiuni este dovedită, permiţându-se utilizarea sa pe scară largă în următoarele situaţii:
  - fotocoagulare panretiniană
  - profilaxia DR prin baraj circular
  - tratamentul neovaselor subretiniene maculare
  - distrugerea de angioame şi a altor formaţiuni vasculare tumorale (datorită absobţiei bune de către Hb).
- Deşi încă foarte util LASER-ul Ar are o serie de dezavantaje care au impus trecerea la cercetări privind realizarea altor categorii de LASER pentru coagulare. Aceste dezavantaje sunt legate de faptul că lumina emisă de un astfel de LASER clasic albastru verde este compusă din mai multe radiaţii (una violetă la 457 nm, 3 albastre la 472, 476, 484 nm şi 2 verzi la 496 şi 514 nm) care determină apariţia unor efecte defavorabile de difracţie şi absorbţie.
  - De menţionat absorbţia specifică a luminii albastre de către xantofilul macular ceea ce are ca efect scăderea energiei incidente în straturile profunde şi din contră leziuni indezirabile în straturile superficiale, locul de elecţie al pigmentului.

Scanned with OKEN Scanner

LASERI monocromatici

LASER Ar monocromatic verde

- Acesta emite o radiație luminoasă verde la 514,5 nm.
- Absorbția acestei radiații este maximă la Hb și doar de 10% pentru xantofilă. Avantajul dovedit al acestui LASER este a celei mai mici difuzii a căldurii în jurul zonei de impact, permițându-se astfel respectarea optimă a celulelor vizuale în tratamentul macular, ca și obținerea unor efecte mai puțin dureroase în periferie.
- Indicațiile de elecție ale LASER-ului sunt:
  - tratarea neovaselor subretiniene juxtafoveolare sau a celor preretiniene reziduale postcoagulare
  - microanevrisme
  - anomalii microvasculare intraretiniene
  - angioame
  - fotocoagulare panretiniană
  - baraj periferic (contraindicat în caz de hemoragie în vitros sau cristalin opalescent)
- Contraindicațiile LASER-ului monocromatic: interzis a se aplica în caz de neovase subretiniene mascate de hemoragii, medii oculare tulburi sau leziuni depigmentate.

LASER Kr roșu

- Este un LASER monocromatic ce emite o radiație luminoasă de culoare roșie la 647 nm. Absorbția acestei radiații este de 1% pentru xantofilă și la nivel asemănător pentru Hb și melanina.
  - Efectul maxim al acestei radiații se produce la nivelul coroidei. Radiația roșie a LASER Kr nu permite teoretic coagularea directă a vaselor retiniene; de aceea va fi folosită în cazul neovaselor subretiniene juxtafoveolare sau interpapilo maculare situate profund și mascate de lichid tulbure sau hemoragic.
  - Fotocoagularea panretiniană și barajul periferic se pot realiza cu LASER Kr mai ales când mediile oculare sunt tulburi, cu vitros hemoragic și cristalin opalescent.
  - Dezavantajul acestui LASER este că absorbția coroidiană poate fi dureroasă și poate determina hemoragii ce se rezorb lent.

LASER Kr galben

El este absorbit selectiv de Hb, dar nu și de xantofilă și reprezintă un progres față de precedentul.

LASER cu coloranți

Pentru diferite părți ale ochiului vor fi utile diverse radiații:

- periferie: albastru–verde clasic, verde, galben
- vase și neovase: verde, galben

Scanned with OKEN Scanner

- aria maculară: galben, portocaliu, roşu
- leziuni mascate de lame de sânge: portocaliu, roşu
- leziuni mai profunde: roşu.

LASER Yag-Nd

- Neodimul (Nd) este un element din grupa pământurilor rare, ionul său trivalent având configuraţia fundamentală 4F3. Ionul Nd poate fi introdus într-o gamă largă de medii transparente (cristale, sticle), iar schema de nivele energetice permite emisia LASER în sistem de 4 nivele. Randamentul acestui LASER este foarte ridicat, iar conductibilitatea termică mare a cristalului de Yag permite funcţionarea sa într-o varietate foarte mare de regimuri de lucru [3].
- Ca fotocoagulatori sunt folosiţi: cel mai frecvent LASER Yag-Nd cu emisie în pulsuri de mare energie în regim liber cu durata pulsului de 170–250 microni.

LASER Yag-Nd dublaţi în frecvenţă

Lungimea de undă de 1064 nm în care LASERII Yag-Nd emit caracteristic poate fi modificată prin efecte neliniare, obţinându-se radiaţii LASER puternice în alte domenii de lungimi de undă.

Procesul neliniar cel mai utilizat este cel ce duce la dublarea frecvenţei radiaţiei LASER, deci la reducerea la jumătate a lungimii de undă astfel radiaţia ajungând la 532 nm verde deschis. Radiaţia astfel obţinută este foarte bine absorbită de pigmenţi înlocuind cu succes LASER-ul Ar.

Eficienţa cea mai mare pentru dublarea în frecvenţă se obţine în cazul LASER-ilor de putere mare, deci în cazurile de regim comutat. Practic dublarea în frecvenţă se face prin introducerea în cavitatea LASER a unui cristal optic neliniar cu o orientare cristalografică bine determinată şi menţinut la o temperatură fixă şi prin înlocuirea oglinzilor cu oglinzi ce permit extragerea radiaţiei de 532 nm.

Pentru aplicaţii medicale prezintă interes LASER-ul Yag-Nd pompat continuu comutat acusto-optic, cu frecvenţa de 10.000 pulsuri pe secundă dublat în frecvenţa care poate înlocui LASER Ar având avantajul unei construcţii mai simple, a unei eficienţe şi fiabilităţi ridicate.

DIODA LASER

- Microdioda LASER cu emisie în IR (*Microlase infrared diode* – MIDL) a fost folosită pentru fotocoagulare retiniană mai ales în boli proliferative ale FO ca RD exudativă [21,24].
  - MIDL emite la 810 nm. Din acest motiv deoarece radiaţiile IR nu sunt la fel de bine absorbite de către melanină ca radiaţiile cu lungimi de undă scurte ale Ar, MIDL necesită puteri operative mai mari ca ale Ar.
  - Tipul şi aspectul arsurii sunt mai profunde şi gri la FO în cazul MIDL faţă de o arsură albicioasă, mai puţin profundă în cazul Ar.
  - Dioda LASER poate fi folosită pentru afecţiuni de FO la fel de eficace ca şi LASER Ar.

Scanned with OKEN Scanner

– Ea prezintă avantajul că este: compactă, ieftină, eficientă, nu se încălzește și poate lucra cu energie de la rețea.

DLS este utilă pentru:

– fotocoagulare retiniană transpupilară
– endofotocoagulare retiniană
– ciclofotocoagulare transscleralã
– trabeculoplastie
– iridotomie.

III. LASERI VAPORIZATORI

Sunt LASERI în care efectul termic foarte pronunțat duce la evaporarea rapidă a apei din vasele coroidiene. Dintre aceștia amintim:

LASER Yag-Nd cu emisie continuă

LASER-ul Yag-Nd cu funcționare continuă produce încălzire puternică a țesuturilor vii.

LASER Yag-Nd cu pompaj continuu și emisie în frecvență foarte mare de repetiție

LASER cu solid cu emisie în IR apropiat și mediu

LASERII Yag-Er (Erbiu) și cel cu Yag-Er-Tu-No pot fi folosiți în chirurgie atât prin efect termic, datorită absorbției de către apă, cât și prin efect de distrugere prin undă de șoc. Față de ***LASERII cu CO_2*** a căror radiație este bine absorbită de apă, LASERII cu Er și Tu prezintă avantajul emisiei la o lungime de undă mai mică, radiația lor putând fi transmisă printr-o fibră optică LASER-ul cu Er este mai bine pus la punct emițând în impulsuri la 3 microni.

LASERI cu gaze moleculare: LASERUL cu CO_2 datorită absorbției slabe ale celorlalte componente tisulare inclusiv a Hb la această lungime de undă are efect hemostatic slab, fapt ce-i limitează aria de aplicații.

LASER-ul cu CO_2 este utilizat cu succes într-o serie întreagă de aplicații chirurgicale în care avantajele chirurgiei LASER întrec dezavantajele.

B. LASERI CE AU LA BAZĂ EFECTUL MECANIC

1. LASERI CU RUBIN

Rubinul este un monocristal de oxid de Al în care o parte dintre ionii trivalenți de Al sunt înlocuiți prin ioni trivalenți de Cr.

Parametrii tipici ai unui LASER Rb sunt energii de ordinul J la frecvența de repetiție de 0,1–5 pulsuri/sec. LASER Rb a fost primul LASER utilizat în oftalmologie în 1961 la numai 1 an de la inventarea sa. Experimentele inițiale au fost consacrate coagulării irisului la iepuri, apoi a retinei la om. Datorită eficienței sale reduse a fost din ce în ce mai puțin folosit.

2. LASER-UL YAG-ND CU POMPAJ ÎN IMPULS ȘI EMISIE ÎN IMPULS ÎN REGIM COMUTAT

Prin introducerea în interiorul rezonatorului optic a unor dispozitive ce pot modifica raportul între pierderi și amplificarea radiației prin emisie stimulată, se

Scanned with OKEN Scanner

poate controla procesul de emisie LASER. În cazul LASER-ilor în impuls de mare energie, în acest scop se utilizează comutatori bazați pe efect electro-optic.

LASER-ul Yag-Nd în impuls în regim comutat are aplicații largi în medicină în special în oftalmologie pentru chirurgie prin efect de rupere mecanică a țesuturilor ce prezintă transparență ridicată (cristalin) și pentru care nu se pot utiliza tehnicile bazate pe efect termic.

3. LASERI CU ER-TU

LASER-ii Yag-Er-Tu pot fi folosiți și datorită efectelor lor mecanice producând distrugerea țesuturilor prin undă de șoc.

4. LASERI CHIMICI CU EXCIMERI

- Laserul excimer este un laser în stare gazoasă (care foloseşte fluorura de argon), cu lungime de undă 193nm în spectrul ultraviolet.
- Este absorbit la nivel cornean și produce efect fotoablativ.
- Denumirea de excimeri vine de la noțiunea de „excited dimeres". Acestea sunt molecule de gaz ce nu pot exista decât în stare excitată. Este vorba în general de molecule de gaz rar cuplate cu un halogen (de exemplu Ar, Kr, Xe care se pot asocia cu CI și F). Starea fundamentală a acestor molecule este instabilă și de aceea ele se descompun în permanență emițând UV [26].
- Mecanismul de acțiune al LASER-ilor cu excimeri, fotodecompoziția, nu se bazează pe nici unul din efectele biologice produse de emisia LASER (coagulare, vaporizare, fotoradiația sau fotoruptura cu crearea plasmei), fiind vorba de un efect nou, bazat pe volatilizarea structurilor fără intervenția căldurii sau a unei de șoc [27].
- **Laserii cu excimeri sunt folosiți mai ales pentru afecțiuni de pol anterior permițând secțiuni corneene foarte fine (0.1 micr).**

Folosirea acestui LASER începe în 1983 când intra în uz pentru practica oftalmologică în corecția chirurgicală a astigmatismului.

- Cel mai important reprezentant al acestei grupe de LASERE este **LASER excimer Ar fluorurat ce emite la 193 nm**.
- LASER-ul cu excimeri se poate folosi pentru tratamentul chirurgical viciilor de refracție – miopie, hipermetropie, astigmatism

5. FEMTOLASER

- Femtolaserul este un LASER în stare solidă, cu lumgime de undă 1053 nm, situat în spectrul infraroşu apropiat care produce un efect fotodisruptor asupra țesuturilor transparente (cornee)
- **Lentile de contact folosite pentru fotocoagularea LASER**
  - lentila Goldman (G)
  - lentila Krieger (K)
  - panfundoscopul (P)
  - lentila Mainster (M)

Scanned with OKEN Scanner

PARAMETRI	Goldman	Krieger	Panfundoscop	Mainster
SUPRAFAȚA	Plană	Concavă	Convexă	Convexă
PUTERE	-67	-92	+85	+61
TIP IMAGINE	Virtual dreapta	Virtual dreapta	Reală inversă	Reală inversă
LOC IMAGINE	Capsula vitros posterioară cristalin	Vitros	Lentile biconvexe	Aer

- În cazul tratamentului retinian cu LASER un rol deosebit se atribuie și alegerii corecte și corespunzătoare a lentilelor de contact.

EFECTE BIOLOGICE ALE LASER-ilor

NOȚIUNI GENERALE DESPRE INTERACȚIUNEA LASER-ului CU MATERIA

- Radiația electromagnetică care este emisă de dispozitivul LASER conține ca orice undă luminoasă fotoni, purtători de cuante de energie cu valoarea:

$$E = h\nu$$

h – constanta lui Planck;

  - frecvența variază proporțional cu lungimea de undă cu creșterea energiei fotonice odată cu scăderea lungimii de undă.
  - definim puterea ca fiind energia transportată pe unitatea de timp. Efectele radiației asupra țintei propuse sunt funcție de puterea emisă.
- Pentru stabilirea efectelor biologice ale LASER-ului asupra materiei trebuie să cunoaștem efectele produse de radiația e.m. coerentă sub forma fascicolului LASER de puteri mai mari sau mai mici asupra ultimei verigi biologice, adică atomul și molecula [21,22].

Interacțiuni la puteri mici

- *La nivelul atomului*
  - Atomul se găsește în general în stare labilă, cu configurație energetică minimă; aceasta se asigură prin dispunerea electronilor ce aparțin atomului pe straturi corespunzătoare unor nivele energetice determinate, electronii având cu atât mai multă energie cu cât sunt situați mai departe de nucleu.
  - Un atom devine excitat când, prin sosirea unui foton și absorbția unei cuante de energie trece într-o configurație energetică superioară nivelului său stabil, stare care se realizează prin tranziția unui electron de pe un strat inferior pe un strat superior. Noua configurație a atomului poate antrena modificări ale legăturilor atomice cu posibilitatea de ionizare, formare de noi molecule etc.

Scanned with OKEN Scanner

- *La nivelul moleculei* există:
  - număr mare de atomi în stare inițială ce compun o moleculă
  - sunt nivele de energie vibrațională, rotațională și de legătură proprii moleculei
  - dintre numeroasele modificări posibile într-o moleculă sub influența unui fascicol LASER radiațiile cu lungimi de undă scurte deci cu energii foarte mari antrenează ionizări și disociații moleculare, în timp ce radiațiile cu lungimi de undă mari de tipul IR creează mai ales schimbări în starea vibrațională, rotațională a moleculelor.
  - moleculele ce au atins un nivel superior de energie se pot relaxa în moduri variate:
    - reemisie de fotoni cu lungime de undă identică sau diferită
    - conversia acestei energii în căldură prin creșterea numărului de ciocniri intermoleculare conducând eventual la creșterea de volum a zonei modificate care devine superioară în volum zonei efectiv iradiate
    - accelerarea reacțiilor chimice.

Interacțiuni la puteri mari

- Dacă efectele termice sunt preponderente, asistăm la o importantă creștere de căldură a zonei iradiate cu modificare rapidă de volum, fenomene ce antrenează unda de șoc mecanică. La un grad în plus asistăm la vaporizarea structurii iradiate cu transformarea ei în starea de plasmă ionizată.

Puterile mari necesare pentru a obține aceste interacțiuni nu se folosesc decât rareori și excepțional în biologie.

EFECTE BIOLOGICE ALE LASER-ului

- Studii experimentale și experiența clinică deja destul de mare au dovedit eficacitatea deosebită a fascicolului LASER în diverse maladii oftalmologice.
- Avantaje ale utilizării LASER în terapeutica medicală:
  - datorită proprietăților sale speciale (monocromaticitatea, direcționalitate, coerența), fascicolul LASER poate transporta la distanțe foarte mari energia e.m. practic fără pierderi
  - prin posibilitatea de focalizare într-un punct a unei energii mari pe unitatea de suprafață se pot obține efecte biologice diverse
  - posibilitatea ca în urma focalizării punctiforme radiația sa poate fi introdusă în fibra optică de diametru de ordinul zecilor sau sutelor de microni pentru a penetra și livra apoi radiația LASER în zone inaccesibile fascicolului direct [12].

Interacțiunea cu sistemele vii a radiației LASER se definește printr-o serie de efecte [21]:

Scanned with OKEN Scanner

Efect mecanic

- Considerate iniţial ca fiind apanajul LASER-ilor de mare putere, drept consecinţe la distanţă sau în apropiere a efectului termic, efectul mecanic a fost reevaluat ulterior.
- S-a dovedit de fapt că acest efect se obţine în urma iradierii cu LASER de putere foarte mare (de ordinul 10^{12}) realizată în interval de timp de ordinul 10^{-9} până la 10^{-12} secunde. În urma acţiunii acestui fascicol de unde e.m. asupra ţesutului se creează la locul de impact o ruptură a materiei vii, modificare ce apare indiferent de structura sau consistenţa chimică a organului iradiat.
- Acest efect numit „break down", „străpungere", este caracteristic „LASER-ilor reci" al căror cel mai important reprezentant este LASER-ul Yag Nd cu emisie în impulsuri (*Q switched*).
- Efectul mecanic se obţine datorită concentraţiei foarte înalte de energie într-un volum foarte mic (diametru spot de 50–150 microni) în interval foarte scurt de timp.
  - se obţine astfel o undă de şoc care rupe ţesutul vizat.
  - Posterior locului de impact se formează un „scut" de plasmă care, blocând iradierea mai departe a fascicolului se comportă în suprafaţă ca o oglindă ce reflectă unda de şoc spre zonele anterioare recte spre cornee, care va fi lezată în cea mai mare parte a cazurilor [14].
- Efectul termic nu se produce, întrucât datorită duratei mult prea reduse a emisiei LASER, energia calorică transportată de fascicolul luminos nu are timp fizic să iradieze. De aici şi denumirea de „LASER-i reci", utilizaţi în oftalmologie mai ales în afecţiuni de pol anterior.

Efect electric

- Acesta a fost luat în calcul datorită posibilităţii de interferenţă a radiaţiei LASER cu alte categorii de unde. Efectul Raman, emisia de fotoni de lungimi de undă diferite de a celor incidenţi, este însă neglijabil deoarece chiar LASER-ul cu emisie continuă este practic declanşat de expuneri predeterminate din construcţie sau din necesităţi terapeutice.

Efect fotochimic

- Acest efect deşi considerat multă vreme ca un efect biologic al radiaţiei LASER a fost reconsiderat ca fiind fenomen de sine stătător dacă se iau în discuţie doar consecinţele radiaţiei asupra atomilor şi moleculelor de la nivel retinian.
  - Absorbţia unui foton de către un atom determină trecerea acestuia din stare stabilă în stare excitată. Reîntoarcerea atomului la starea iniţială se face cu eliberarea unei cuante energetice care va fi absorbită de alte molecule, realizându-se un lanţ de reacţii necontrolate [16].
  - Studii experimentale au dovedit că moleculele susceptibile a fi antrenate în aceste reacţii în lanţ sunt foarte probabil cele din pigmentul vizual al articolului extern al conurilor şi bastonaşelor ca şi în mitocondriile de la nivelul elipsoidului articolului intern şi extern al fotoreceptorului.

Scanned with OKEN Scanner

- Acest efect fotochimic este limitat la lungimi de unde scurte (albastru și UV) la intensități luminoase foarte slabe cu timp de expunere prelungit (mai mult de 10 s) mai ales pentru că numărul moleculelor vulnerabile la excitația electronică crește cu creșterea energiei fotonilor.

De menționat că vibrația electronică produsă la nivelul materiei nu e capabilă să crească temperatura mediului la nivele suficiente pentru determinarea unei arsuri. Deci efectul termic lipsește în aceste situații.

Efectul biologic

- Radiația LASER are următoarele efecte biologice:
  - antiinflamator
  - biostimulant asupra creșterii și multiplicării celulelor
  - stimulare a cicatrizării plăgilor

Aceste efecte se datorează:

- inhibării enzimelor proteolitice
- stimulării metabolismului celular
- vasodilatație în teritoriul capilar
- accelerarea mitozelor celulare fără apariția anomaliilor genetice.

Studii electrono-microscopice au constatat:

- creșterea activității lizozomale
- creșterea numărului și volumului mitocondriilor
- incorporarea accelerată a amino-acizilor în proteine
- accelerarea fagocitozei

- Studii clinice, corelate cu studii histologice experimentale au arătat că unul din cele mai **importante efecte biologice ale radiației LASER este efectul de biostimulare, care se realizează cu LASER-i de putere mică cu emisie continuă sau în pulsuri.**
- Pe culturi de celule iradiate cu fascicol LASER din domeniul apropiat vizibil (oranj–roșu) se constată o serie de efecte asupra diverselor sisteme enzimatice în sensul [16]
  - activării
    - NADH dehidrogenază
    - citocromooxidaza
  - inhibării
    - fosfaza acidă
  - menținerea constantă a valorilor inițiale
    - superoxiddismutaza
- Această activitate enzimatică specială se traduce prin:
  - creșterea activității celulare fără acumulare de produși toxici ai oxigenului (ion hidroxil)
  - creșteri ale indexului mitotic celular
  - accelerarea procesului de proliferare
  - stimularea producerii de ATP

Scanned with OKEN Scanner

- În sfera oftalmologică biostimularea şi-a dovedit eficacitatea. Astfel, aplicarea LASER-ului He-Ne produce prin biostimulare regenerarea celulelor endoteliale corneene. De asemenea, utilizarea cu succes a LASER-ului cu colorant pompat cu azot în degenerescenţa maculară ca şi regenerarea neuroreceptorilor la iradierea cu LASER Ar de putere mică sunt date ce atestă rolul benefic al efectului de biostimulare.

Efectul termic

- Efectul termic se datorează absorbţiei fotonului din radiaţia LASER pe o moleculă retiniană. Energia adusă sistemului de particula incidentă produce vibraţii ale moleculelor, realizând contractări sau alungiri ale legăturilor atomice
  - Energia vibraţională acumulată în cantitate mare se disipă sub formă de căldură prin ciocnirea moleculelor în cauză cu alte sisteme din jur. Când temperatura locală creşte cu 10–15 grade peste normal, structura terţiară se distruge, se rup legăturile de oxigen şi hidrogen şi molecula se denaturează. Dacă temperatura locală creşte peste 100 grade, materia îşi schimbă starea de agregare; apa se vaporizează şi volumul fiecărei molecule creşte atingând proporţii considerabile (de 1700 de ori volumul iniţial). Consecinţele acestor fenomene este o explozie cu ruptură a membranei limitante interne a retinei şi a membranei Brauch.
  - Fenomenele menţionate se petrec la densităţi foarte mari de energie în timp foarte scurt.

- ***Pentru obţinerea efectului termic trebuie să ţinem seama atât de parametri nereglabili reprezentaţi de caracteristicile tisulare oculare cât şi de parametrii reglabili ai dispozitivului LASER*** [17].

Parametri nereglabili

- Parametrii biologici la care manipulatorul dispozitivului LASER trebuie să se acomodeze pentru a obţine efect termic necesar în terapie sunt:
  - transmisia spectrală
  - absorbţia tisulară şi distribuţia cromoforilor în ţesutul ţintă
  - difuzia fascicolului
  - conductibilitatea termică a ţesutului [25]

Transmisia spectrală

- Mediile oculare permit transmisia luminii cu lungimi de undă cuprinse între 380–1400 nm. Penetrabilitatea maximă a radiaţiei este cuprinsă între 380–900 nm urmând o scădere bruscă a acesteia între 900 şi 1000 nm; avem apoi două ferestre de permeabilitate la 1064 respectiv la 1400 nm cu peak-uri mai mici ca în zona de maximă penetrabilitate. Sub 380 nm absorbţia radiaţiei UV de către cristalin şi cornee limitează expunerea retinei la radiaţie LASER. Peste 1400 nm absorbţia apei tisulare limitează brutal absorbţia.

Scanned with OKEN Scanner

Absorbția tisulară

- Absorbția diverselor țesuturi oculare se datorează prezenței la nivel corio-retinian a cromoforilor, convertizorii de energie. Aceştia sunt molecule sau fragmente moleculare responsabile de absorbția energiei transportată de fotoni şi convertirea ei în căldură [28].
- Cromoforii sunt, pentru ochiul uman şi pentru radiațiile LASER clasice, următorii:
  - **Melanina** ce se găseşte în: epiteliu pigmentar, iris, melanocite coroidă, trabecul.
  - **Hemoglobina** se găseşte în vasele retinei şi ale coroidei, iar în situații patologice în vitros (hemoragii vitreene). Se disting oxihemoglobina şi hemoglobina redusă ale căror curbe de absorbție cu excepția unor mici diferențe urmează acelaşi traseu.
  - **Xantofila,** pigmentul galben se găseşte în stratul plexiform intern şi extern al retinei maculare.
  - Cristalinul senescent ca şi cristalinul normal absoarbe cantități mari de radiații UV, de aceea aceste raze nu pot ajunge pe retină.
- LASER-ul AR clasic pentru fotocoagulare retiniană ce emite la 488 nm în albastru şi la 514 nm în verde are o radiație absorbită de hemoglobina pentru verde şi de melanină şi xantofilă pentru albastru.
- Contribuția acestor trei pigmenți la absorbție face ca retina să fie în condițiile iradierii sale un foarte bun înmagazinator de energie calorică.
  - Practic la iradierea în scop terapeutic cu LASER Ar fascicolul va fi oprit şi înmagazinat în EP (depăşirea acestuia ar necesita energii foarte înalte ce ar leza retina) de unde zona de creştere a temperaturii se reflectă ca o bulă emisferică spre retina internă.
  - Acest efect caloric nu trebuie să depăşească stratul 6 al retinei ceea ce corespunde efectiv unei pete albe pe retină. În această situație nu se poate iradia zona coriocapilară, deci scade posibilitatea tratării leziunilor subretiniene în condiții de securitate retiniană.
- Lumina galbenă de lungime de undă 568 nm este absorbită maximal de hemoglobină şi în mică măsură de melanină.
- Lumina roşie a LASER-ului Kr de 647 nm este absorbită de melanină şi doar 1% de xantofilă, 67% este absorbită de EP şi de coroidă, dar spre deosebire de LASER-ul Ar 85% din radiația incidentă pe EP poate trece mai departe în coroidă; de aici utilizarea deosebită **a LASER Kr în fotocoagularea leziunilor subretiniene**.
- Absorbția radiației IR de către apa celulară se găseşte la baza realizării LASER-ului cu emisie în IR îndepărtat din care cel mai important reprezentant este LASER-ul cu CO_2 folosit ca bisturiu. Alegerea diverselor lungimi de undă în terapie trebuie făcută deci în funcție de efectele dorite ca şi de posibilele consecințe iatrogene care necesită a fi evitate.

Scanned with OKEN Scanner

Dispersia (principiul Raleigh)

- Fenomenul de dispersie a luminii se produce atunci când undele luminoase cad pe un mediu format din particule de dimensiuni inferioare lor; lungimi de undă mai mari vor penetra mai bine mediile oculare refringente.
  - Dispersia luminii creşte cu vârsta datorită modificărilor de senescenţă ale cristalinului. Cea mai mare dispersie o are lumina albastră de 495 nm a LASER Ar; de aceea pentru ca o fracţie mai mare de energie să traverseze spre retină mediile oculare folosim **lumina verde când cristalinul devine opalescent şi lumina roşie când avem hemoragie în vitros.**
  - **Dispersia intraretiniană în vecinătatea punctului de fotocoagulare mai importantă pentru lumina albastră Ar ca cea roşie Kr în cursul expunerilor prelungite (panfotocoagulare)** poate fi una din cauzele leziunilor retiniene (de agresiune fotochimică) mai ales la nivelul **conurilor** sensibile la albastru.

Conductibilitatea termică a ţesuturilor biologice

- Căldura degajată de absorbţia luminii de către cromofori se transmite în vecinătate cu o viteză ce depinde de conductibilitatea termică a ţesuturilor ţintă.
  - Conductibilitatea termică explică deci extinderea leziunilor retiniene de la locul principal de absorbţie spre membrana limitantă internă creând un aspect de piramidă cu baza spre exterior şi vârful la interior.

Parametri reglabili

- lungimea de undă LASER
- dimensiunea spotului
- timpul de expunere
- energia incidentă

Dimensiunea spotului

- Dimensiunea spotului intervine în densitatea de putere sau energie.
  - La spot de dimensiuni mici temperatura creşte rapid în ţesutul iradiat pentru a atinge foarte repede un nivel maxim existând în acest caz un gradient termic semnificativ între centrul impactului şi zonele din jur (relaxare termică importantă).
  - La spot de dimensiuni mari echilibrul termic se atinge mai greu; centrul impactului se răceşte mai lent pentru că e înconjurat de o centură de ţesut cald.
  - La densităţi de putere egale, temperatura e mai ridicată în centru la impacte cu spoturi de mici dimensiuni de unde un risc cel puţin teoretic de supradozaj cu eliberarea unei cantităţi mai mari de căldură spre straturile interne ale retinei. Dar, pentru diametre ale spotului de cca 500 microni, cu timp de expunere relativ mare (0,1 s) ţesutul retinian transformat în coagulum alb reflectă lumina de unde o scădere a absorbţiei realizând un mecanism de autoprotecţie împotriva supradozajului termic. Din contră, la spoturi mici eliberate în timp foarte scurt, creşterea rapidă de temperatură

Scanned with OKEN Scanner

fără posibilitatea evacuării căldurii prin țesuturile din jur (timp de expunere inferior timpului de relaxare termică) este responsabilă de fenomenul exploziv (risc practic inevitabil în cazul LASER cu rubin), [30].

Timpul de expunere și energia incidentă

- Pornind de la relația între energie, putere și timp este posibil cel puțin teoretic a se obține același efect la energie constantă variind fie timpul, fie puterea LASER. Astfel:
  - la timp de expunere prelungit, apar zone de fotocoagulare ale căror dimensiuni depășesc dimensiunile spotului de focalizare având centrul mai cald ca periferia;
  - timp de expunere mai scurt realizează impacte cu omogenitate mai mare;
  - impacte foarte scurte expun la fenomene de explozie (ruptura de mb. Bruch, a limitantei interne).
- Pentru fotocoagulare în securitate trebuie corelat cât mai adecvat timpul de expunere cu puterea. De exemplu, dacă efectul obținut este insuficient (nu se obține pata albă pe retină) nu trebuie micșorat dimensiunile spotului (pentru că astfel obținem o putere pe care n-o putem controla foarte bine), ci trebuie crescut timpul de expunere [32].
- Pentru coagularea vaselor fluxul sanguin responsabil de pierdere termică importantă impune alegerea unui timp de expunere lung la un diametru relativ larg.

ASPECTE HISTOPATOLOGICE ALE IRADIERII LASER A RETINEI

- Leziunile corioretiniene produse în urma iradierii cu un fascicol LASER depinde de o serie de factori:
  - diferențele structurale ale corioretinei expuse, înțelegând prin acestea:
    - grosimea retinei
    - localizarea leziunii (periferică sau centrală)
    - gradul de vascularizație
    - starea sa funcțională – atrofică sau edematoasă
  - caracteristicile spectrale de absorbție a cromoforilor diferite mai ales datorită repartiției lor inegale

Efectele histologice ale radiației albastru–verde și roșie ale LASER-ului Ar și respectiv Kr

Retina periferică

Leziunile evoluează în 3 stadii

- starea de distrugere (imediat)
- starea de reconstrucție (după 6 ore)
- starea de cicatrizare (a 3-a săptămână)

Scanned with OKEN Scanner

LASER-ul Ar

- Efectul termic ce apare în cazul iradierii este consecutiv absorbției energiei incidente de către EP (73% la 488 ca lungime de undă).
- ***Leziunile supraliminare*** produse de radiația LASER cu următoarele caracteristici:
  - timp de expunere de 0,05 secunde;
  - diametrul spotului de 200 microni;
  - puterea emisă de 350–600mW, se întâlnesc în tratamentul profilactic al DR

Stadiul de distrugere

- Apare o necroză de coagulare a EP la locul de impact, zona fiind limitată însă net de celule normale. Articolele externe ale fotoreceptorilor sunt necrozate atât datorită căldurii, cât și datorită enzimelor litice eliberate prin distrugerea EP. În jurul zonei de impact apare o lamă fină de exudat subretinian între celulele epiteliale și celulele vizuale discret afectate. În ceea ce privește straturile interne, este afectat doar stratul plexiform intern care pare edematos. Membrana Bruch și membrana limitantă internă sunt intacte.
- Consecințe practice:
  - deoarece straturile interne ale retinei nu sunt afectate, transmisia nervoasă se poate realiza normal; CV este bine conservat chiar în panfotocoagulare; de menționat că celulele de asociație compensează distrugerile cauzate de fotoreceptori.
  - Integritatea membranei limitante interne împiedică formarea aderențelor vitreo-retiniene iatrogene;
  - Datorită formării unei mici decolări a neuroepiteliului la marginea zonei de impact se contraindică fotocoagularea directă a unei leziuni degenerative predispozante la DR

Starea de reconstrucție

- Straturile interne ale retinei au grosimea normală. În centrul leziunii celulele EP necrozat se refac prin proliferarea celulelor epiteliale periferice cu apariția de noi celule epiteliale în lungul mb. Bruch. Stratul necrotic al fotoreceptorilor este ocupat de exudat și macrofage pigmentate; DR senzorială periferică dispare.
- Consecințe practice:
  - soluția de continuitate ce există la înlocuirea fotoreceptorilor distruși indică o cicatrice în formare vulnerabilă (a 6-a zi);
  - ruptura EP ce asigură difuzia de la nivel coroidian ar putea favoriza rezorbția lichidului unui retinoschizis sau a unui edem retinian pe cale coroidiană

Starea de cicatrizare

- Cicatricea nu depășește stratul plexiform extern; au loc două procese cicatriciale epitelial și glial cu evoluție perpendiculare unul pe celălalt: celulele pigmentate nou formate ce tapetează mb. Bruch suferă o metaplazie fibroasă.

Scanned with OKEN Scanner

- Consecinţe practice:
  - În a 3-a săptămână, cicatricea este localizată doar la nivel retinian fiind deci incapabilă să reziste la o tracţiune progresivă a vitrosului; acest fapt justifică rezerva cu care se aplică fotocoagularea în profilaxia DR, cu indicaţii foarte precise;
  - Subţierea retinei cicatriciale şi migrarea pigmentului spre straturile interne ale retinei (unde formează adevărate zone de absorbţie a fotonilor) expune la un real risc exploziv în cazul reaplicării radiaţiei LASER.

Leziuni infraliminare

Dacă intensitatea este insuficientă pentru a crea o leziune a EP fotoreceptorii nu sunt afectaţi.

Leziuni prin supradozaj

- Ca efect imediat se observă că leziunile de obicei localizate se întind în suprafaţă şi în profunzime.
  - La nivel retinian vârful zonei piramidale de leziune ce se întinde normal până în stratul plexiform ajunge în stratul fibrelor nervoase care pot fi astfel distruse; de asemenea mb. Limitantă internă poate fi atinsă de multe ori cu ruperea ei astfel că în final supradozajul provoacă o adevărată perforaţie retiniană.
  - La nivelul vitrosului se constată o încălzire excesivă, ceea ce duce la lichefierea lui fără apariţia însă a decolării posterioare.
  - Atingerea vaselor retiniene aflate în straturile interne ale retinei pot da naştere la hemoragii importante. Are loc ruperea mb. Brauch, iar capilarele corioretiniene pot sângera datorită fascicolului supradozat. Procesul de cicatrizare evoluează cu formarea de membrană epiretiniană prin proliferarea celulelor Muller; această membrană se poate contracta dând un sindrom vitreo-retinian ce poate evolua spre formarea de neovase.

LASER Kr

- Caracteristica principală a acestui LASER ce emite radiaţie roşie este absorbţia sa în straturile coroidiene profunde cu conservarea straturilor retiniene interne. La nivel coroidian determină ocluzia capilarelor şi a vaselor coroidiene.

Retina maculară

- La o distanţă de mai mult de 2 grade de centrul foveii, morfologia leziunilor produse de LASER Ar şi Kr sunt asemănătoare celor produse în periferie.
- Aproape de foveola LASER-ul Ar produce leziuni ale retinei în stratul nuclear intern (interesează şi stratul plexiform şi cel al celulelor ganglionare) şi de asemenea leziuni ale EP dar de mai mică importanţă.
- Iradierea cu LASER Kr leziunile rămân localizate la nivelul coroidei şi a EP fără extindere spre straturile interne ale retinei.

Scanned with OKEN Scanner

Vase sanguine

Vase retiniene

LASER Ar

- Absorbția luminii verde de către Hb a justificat dezvoltarea mare pe care a cunoscut-o LASER-ul Ar folosit mai ales pentru obliterarea neovaselor din RD.
- Coagularea vasculară rezultă printr-un efect termic la distanță provenind de la EP.
- Consecințe practice:
  - fotocoagularea vaselor retiniene expune la risc de distrugere a stratului fibrelor nervoase cu posibilitatea de apariție a scotoamelor;
  - fotocoagularea trunchiurilor vasculare principale este imposibilă; ea se poate realiza însă doar cu prețul unei distrugeri retiniene întinse la energie de supradoză.

LASER Kr

- Lipsa absorbției de către Hb a luminii roșii face imposibilă și ineficace coagularea vasculară în teritoriul retinian.

Vase coroidiene

- Amândouă radiațiile Ar și Kr produc ocluzie capilară în zona coriocapilară pe întreaga suprafață iradiată.
- Diferența este că LASER-ul Kr pătrunde mai în profunzime pentru că el nu este absorbit de EP. Leziunile produse de acesta se însoțesc de modificări ale melanocitelor coroidiene care vor constitui un nou sediu de absorbție al radiației luminoase.
  - Această particularitate a LASER Kr este foarte avantajoasă pentru **arsura neovaselor subretiniene de origine coroidiană.**

LASERE cu colorant

Absorbția și difuzia slabă prin medii refringente

- coagulare eficace chiar în caz de opacități cristaliniene sau vitreene;
- spotul emis nu-și mărește dimensiunea la trecerea prin medii tulburi.

Dispersia de energie este scăzută în retină

- mai puține leziuni în vecinătatea punctului de impact
- mai puține leziuni fotochimice (nu termice) ale fotoreceptorilor

Absorbție neglijabilă a pigmentului xantofil

- fotocoagularea parafoveolară eficace
- nu se obțin leziuni maculare prin difuzia luminii

Profunzimea arsurii variază prin selecția lungimii de undă

- păstrarea intactă a fibrelor nervoase
- străbat petele vasculare mici
- tratament DR plate

Scanned with OKEN Scanner

- edem retinian de mici dimensiuni
- arsuri profunde în tratamentul tumorilor
- coagulare precisă a neovaselor

COMPLICAȚIILE LASER-ilor

COMPLICAȚIILE IMEDIAT

Hemoragiile – 0,45% – pot proveni de la nivelul vaselor retiniene, coroidiene; ele pot fi localizate sau uneori mai grav pot constitui adevărate hematoame localizate coroidiene sau cu extindere spre vitros.

Hemoragiile pot fi prezente în tratamentul LASER în:

- fotocoagularea membranei neovasculare subretiniene
- fotocoagularea directă a neovaselor papilare
- prevenția DR

Odată apărute, încercarea de oprire a acestora se poate face pe două căi:

- creșterea presiunii intraoculare prin apăsarea globului ocular cu sticla de contact pentru scăderea fluxului sanguin
- obliterarea zonei sângerânde prin fotocoagulare cu flashuri mai lungi (timp de expunere de 0,2 s)

DR exudativă

- Această complicație poate interesa coroida, EP și retina neurosenzitivă.
- Cel mai frecvent se întâlnește decolare coroidiană la subiect tânăr diabetic după o secvență de pantofotocoagulare retiniană cu un număr important de impacte LASER. DR exudativă ce apare poate dura 1–2 săptămâni rezorbindu-se spontan.

Edem macular cistoid

- Apare după fotocoagulare cu un număr important de spoturi aplicate în segmentul temporal superior la un diabetic ce prezintă deja un anume grad de edem macular. Survenit brutal la 12–24 ore de la secvența fotocoagulării, edemul macular cistoid produce o scădere bruscă a AV cu recuperare însă totală sau subtotală în 8–15 zile, fără tratament.
  - Pentru prevenirea acestei complicații trebuie ținut seama de valoarea tensiunii arteriale, gradul insuficienței renalei, echilibrarea diabetului și doar apoi trecut la fotocoagulare.

Ocluzii vasculare

- **Retiniene** – cei mai expuși la acest gen de complicații sunt diabeticii ce prezintă o încetinire a fluxului sanguin alături de modificări ale elementelor figurate și ale pereților vasculari. De aceea în cazul RD se contraindică aplicarea fascicolului LASER direct pe vase.

Scanned with OKEN Scanner

- **Coroidiene** – această complicaţie apare în cadrul sindromului de ischemie coroidiană şi este urmarea ocluziei arterei ciliare lungi. La examenul FO leziunea apare gri, apoi se pigmentează persistând o amputaţie corespunzătoare de CV.
- **Nevrita optică** – Este o complicaţie foarte rară; ea este de fapt o papilită ischemică, observată mai ales în cursul tratamentului direct al neovaselor papilare.
- **Amputaţii fasciculare de CV** – Se întâlnesc în cazul tratării unei retine subţiri ca şi în cazul aplicării de puncte de **fotocoagulare** în vecinătatea papilei.
- **Leziuni corneene** – Ele nu rezultă dintr-o absorbţie directă ci mai degrabă din degajarea căldurii secundare unei arsuri pe iris. Această complicaţie este mai frecventă după utilizarea LASER Xe.
- **Leziuni cristaliniene** – Ele survin la subiecţi ce au deja un grad de scleroză cristaliniană. Opacităţile suplimentare apar la câteva ore după fotocoagulare şi au caracter staţionar.

COMPLICAŢII TARDIVE

Rupturi retiniene (găuri), DR

- Rupturile retiniene rezultă fie datorită accentuării tracţiunii vitreoretiniene la o retină foarte subţire, fie datorită necrozei de coagulare a acestei membrane; pe acest teren poate surveni oricând o DR regmatogenă, de aceea pentru prevenirea ei trebuie să fie blocată ruptura prin aplicare de noi puncte de fotocoagulare în jurul său, fie intervenţie chirurgicală.
  - Pentru prevenirea rupturii retiniene şi a DR, punctele LASER cu energii moderate trebuie aplicate diseminat, evitându-se aplicarea pe hemoragii preretiniene.

Retracţia membranei epiretiniene

- Aceasta a fost descrisă în cazurile tratamentului pentru retinopatia proliferantă ca şi pentru profilaxia DR cu fotocoagulare în cerc.

Neovase subretiniene

- Acestea au fost observate în cursul retinopatiilor proliferante din diabet sau alte afecţiuni generale sau în profilaxia prin fotocoagulare a cicatricilor în cazul unor corioretinite. Frecvenţa de apariţie a neovaselor coriovitreene este mai mare ca a celor subretiniene, dar această diferenţă este compensată de prognosticul mai rezervat al acestora din urmă.
  - Timpul de descoperire al neovaselor subretiniene este variabil mergând de la câteva săptămâni la 30 luni.
  - Localizarea cea mai frecventă este la nivelul polului posterior, deşi se pot întâlni şi în periferie. Modul de descoperire cel mai frecvent este prin hemoragie vitreană sau subretiniană.

Scanned with OKEN Scanner

Edemul macular cistoid cronic

Dacă edemul macular cistoid nu regresează în maximum două săptămâni, acesta necesită tratament propunându-se fotocoagulare LASER în grilă. Astfel impactele de 100–200 microni sunt plasate în grilă pe maculă, evitându-se fovea cu obținerea în unele cazuri rezultate bune.

PROBLEME MEDICO-LEGALE ALE APLICĂRII LASER ÎN PRACTICA OFTALMOLOGICĂ

- Terapia LASER este pe cât de benefică tot pe atât de periculoasă în caz de folosire neavizată. Exemplu: **Fotocoagularea accidentală a maculei**.
- Pentru afecțiuni ale polului posterior trebuie prudență în fotocoagulare cu reperarea frecventă a leziunii.
  - Evitarea ședințelor lungi.
  - Protejarea maculei de puncte de fotocoagulare în vecinătatea ei.

Ne permitem a menționa că deoarece în cursul fotocoagulării se poate atinge macula cu pierderea vederii, un pacient nemulțumit poate determina avocatul să încadreze cauza în **Articolul 182 cod penal** care spune că:

„Fapta prin care s-a pricinuit integrității corporale sau sănătății o vătămare ce necesită îngrijiri medicale mai mult de 60 zile sau care a produs una din următoarele consecințe:

- *pierderea unui simț sau organ*
- *încetarea funcției unui simț sau organ*
- *infirmitate permanentă fizică sau psihică*

se pedepsește cu închisoare între 2–7 ani; acțiunea penală se instituie de la sine, iar împăcarea părților nu închide cauza”.

BIBLIOGRAFIE

1. Forbes, A, *Structured Light: Structured Light from Lasers*, 2019, Laser Photonics Rev. 13(11).
2. Belanger, PA, Pare, C, *Optical resonators using graded-phase mirrors*, 1991, 16/14, Optical Letters.
3. Leger, JR, Chen, D, Wang, Z, *Diffractive optical element for mode shaping of a Nd:YAG laser*, 1994, Optical Letters, vol.19, 108–110.
4. Naidoo, D, Roux, FS, Dudley, A, *et al.*, *Controlled generation of higher-order Poincare sphere beams from a laser*, 2016, Nature Photonics, 10, 327–332.
5. Yang, H, Meng, J, Chen, W, *High efficiency and high-energy intra-cavity beam shaping laser*, 2015, Laser Physics 25(9).
6. Court, L, Courant, D, Gueneau, G, Duchene, A, Laborde, G, *Effect du faisceau laser sur la fonction visuelle*, Radioprotection, GEDIM, 1984, supplement 1, 41–62.
7. Dickey, FM, *Laser Beam Shaping: Theory and Techniques*, 2018, CRC Press.
8. Forbes, A, *Structured Light from Lasers*, 2019, Laser & Photonics reviews, vol. 13, issue 11, American Academy of Ophtalmology, 2019.
9. Scholes, S, Sroor, H, Ait-Ameur, K, *et al.*, *General design principle for structured light lasers*, 2020, Optics Express, vol. 28, Issue 23.

Scanned with OKEN Scanner

10. Shah, A, Yunus, MA, et al, *Finite Element Model Updating of Laser Stitch Welded Structure*, 2019, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
11. Sécurité laser – risques laser pour l'œil, online.
12. Vidal, E, *Caracterisation et prevention des consequences d'un syndrome metabolique dans la retine*, 2018, These de doctorat en Physiologie, UBFC.
13. Organisciak, DT, Vaughan, DK, *Retinal light damage: mechanism and protection*, 2010, Prog Retin Eye Res, 29(2): 113–34.
14. Wenzel, A, Grimm, C, Samardzija, M, Reme, C, *Molecular mechanisms of light-induced photoreceptor apoptosis and neuroprotection for retinal degeneration*, 2005, Prog Retin Eye Res., 24/2, 275–306.
15. Cao, W, Tombran-Tink, J, Elias, R, Sezate, S, Mrazek, D, McGinnis, JF, *In vivo protection of photoreceptors from light damage by pigment epithelium-derived factor*, 2001, Invest Ophthalmol Vis Sci, 42(7): 1646–52.
16. Tisi, A, Feligioni, M, et al, *The Impact of Oxidative Stress on Blood-Retinal Barrier Physiology in Age-Related Macular Degeneration*, 2021, ARMD-Cells, 4/10(1):64.
17. Wood, JP, Shibeeb, O'S, Plunkett, M, Casson, RJ, Chidlow, G, *Retinal Damage Profiles and Neuronal Effects of Laser Treatment: Comparison of a Conventional Photocoagulator and a Novel 3-Nanosecond Pulse Laser*, 2013, Invest Ophth, 54/3, 2305–2318.
18. Lund, DJ, Stuck, BE, Edsall, P, *Retinal injury thresholds for blue wavelength lasers*, 2006, Health Phys, 90(5):477–84.
19. Marble, CB, Yakovlev, VV, *Biomedical optics application advanced lasers and nonlinear optics*, 2020, J Biomed Opt, 25(4).
20. Muqit, MM, Wakely, L, *et al.*, *Effects of conventional argon panretinal laser photocoagulation on retinal fibre layer and driving visual fields in diabetic retinopathy*, 2010, Eye (Lond), 24(7): 1136–42.
21. Dumitrache, Magdalena, *Fotocoagularea laser în bolile oculare*, 1992, lucrare de diplomă, UMF București.
22. Dumitraș, D, Biofotonic. *Bazele fizice ale aplicațiilor laserilor în medicină și biologie*, 1999, Editura All.
23. Popescu, IM, *Fizica și ingineria laserilor*, 2000, Editura Tehnică.
24. Dumitrache, Marieta, *Managementul în bolile oculare*, 2019, Editura Medicală.
25. Cârstocea, B, Apostol, S, Gafencu, O, *Lasers in ophthalmology. Achievements and new directions*, 1995, Proceedings of SPIE.
26. Ștefănescu-Dima, A, Dumitrache Arsene, Marieta, *Laser în chirurgia oculară de pol anterior*, 2007, Editura universitară "„Carol Davila".
27. Dumitrache, Marieta, *Tratamentul chirurgical și tratamentul laser în boli oculare*, 2014, Editura universitară „Carol Davila".
28. Kanski, JJ, Brad Bowling *et al.*, *Clinical ophthalmology: a systematic approach – seventh edition*, 2011, Elsevier.
29. Ryan, SJ, Wilkinson, C, *et al.*, *Retina*, 4th edition, *Retinal laser therapy: biophysical basis and application*, 2006, Elsevier, vol. 1, part. 1, section 74.
30. Dumitrache, Marieta, *Tratat de oftalmologie*, 2005, Editura universitară „Carol Davila".
31. Kanski, JJ, Milewski, SA, *Diseases of the Macula – a practical approach*, 2002, Mosby.
32. Yanoff, M, Ducker, J, *Ophthalmology*, 2004, Mosby.
33. Dumitrache M., Lascu R. *Laser treatment in refractive cornea surgery*, International Journal of open Medicine and surgery, 2020, 1/1, 28–32.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 4

TEHNOLOGII LASER NOI

MARIETA DUMITRACHE

TEHNOLOGII LASER NOI

Laserul – *Light amplification by stimulated emission of radiation* – exercită asupra țesuturilor vii efecte termice, fotochimice, mecanice.

Laserul este sursă luminoasă amplificată prin emisie stimulată a radiației, are multiple și variate utilizări în: medicină, industrie, telecomunicații, muzică, artă.

Oftalmologia este primul domeniu în care s-a cercetat utilizarea în scopuri terapeutice a LASER-ului.

Tratamentul LASER a revoluționat lumea medicală oftalmologică

- raza LASER este o rază luminoasă cu proprietăți variabile în funcție de lungimea de undă, emisă, adesea sub formă de lumină colorată: verde/roșu/galben.

Avantajele folosirii LASER-ului în oftalmologie

- LASERUL permite o mare precizie actului chirurgical, tratamentul LASER putând fi considerat microchirurgie oftalmologică
- LASERUL penetrează structurile oculare fără bisturiu
- incizia LASER este fină
- LASERUL
  - poate cauteriza vasele sanguine
  - reduce riscul de infecție
  - permite intervenție chirurgicală oftalmologică în ambulator.

Actualmente LASERUL este folosit în oftalmologie pentru:

- tratamentul unor afecțiuni oculare: retinopatie diabetică proliferativă (RDP), edem macular diabetic (EMD), obstrucție venoasă retiniană, glaucom
- prevenirea unor complicații în boli oculare
  - leziuni degenerative ale periferiei retinei
  - tratamentul LASER pentru blocarea rupturilor retiniene
- corecția viciilor de refracție: miopie, hipermetropie, astigmatism în chirurgia refractivă a corneei

Scanned with OKEN Scanner

- **Tratamentul Laser în oftalmologie este microchirurgie oculară fără bisturiu.**
- Tratamentul LASER este o intervenţie chirurgicală mult practicată în lume pe un număr mare de pacienţi (milioane de oameni)
- Diferite tipuri de Laser folosite în scop terapeutic în diverse boli oculare acţionează diferit în funcţie de lungimea de undă
  - LASER argon sau Krypton sunt folosite pentru tratamentul glaucomului şi a multor boli retiniene pentru fotocoagulare
  - LASER Yag permite secţionarea membranelor intraoculare în tratamentul glaucomului sau în opacifierea capsulei posterioare post operaţie de cataractă
  - LASERUL excimer este folosit pentru remodelarea corneei în chirurgia refractivă

Folosit în oftalmologie pentru prima oară în 1960 sub formă de LASER cu Rubin, LASERUL a fost perfecţionat ajungând azi la LASERE performante.

LASERELE au evoluat prin folosirea de diferite lungimi de undă, modalităţi de emisie a undei LASER multipunct (multispot), tehnologii de ghidaj

LASERUL monopunct (monospot) în FC clasică a progresat spre interfaţa multipunct care asigură eficacitate terapeutică cu efecte secundare minime (edem cornean, edem macular, scotom periferic, absenţa durerii, cicatrici atrofice minime) graţie „pattern" în scheme de tratament

Actualmente se preferă **platforma multipunct** indicată în tratamentul:

- bolilor retiniene prin FC
- glaucomului cu unghi deschis prin trabeculectomie LASER argon, ALT
- glaucomului cu unghi închis prin iridotomie, iridoplastie cu laser verde
- efecte secundare şi complicaţiile post LASER se reduc semnificativ prin tratament multispot
- LASERUL multipunct permite reglarea în timpul tratamentului a parametrilor necesari: putere, pattern, poziţii (proiectate pe retină)
- Noile console au oftalmoscop indirect cu aplicaţii LASER rapidă cu controlul şi ajustarea parametrilor

LASER micropulsat – emite grupuri de impulsuri foarte scurte cu durată microsecunde evitând formarea de cicatrici prin lipsa efectelor termice, durată şi interval (*on/off time*) personalizate

- Este indicat în tratamentul Edemului macular diabetic – LASER 577 nm şi al CRSC – laser 810 nm

Sistemul LASER Navillas pentru FC focală panretiniană a revoluţionat tratamentul LASER al bolilor retinei în particular: EMD, RDP, OVR.

Sistemul LASER Navillas deschide o eră nouă în managementul bolilor retinei, este confortabil, precis, eficient, rapid, cu aplicaţii în multe boli retiniene grave (EMD, RD, OVR) fără afectarea AV sub tratament.

Avantajele tratamentului LASER în sistem Navillas:

- tratamentul LASER eficient
- confort maxim pentru pacient

Scanned with OKEN Scanner

- timp de intervenţie minim (se reduce la jumătate)
- număr de şedinţe de tratament LASER minim

LASERUL PASCAL – Pattern scaning LASER este gold standard pentru tratamentul LASER al retinei este pionier în pattern scaning LASER, şi foloseşte lungimea de undă 532 şi 577 nm.

LASERUL multipunct Pascal este ultima noutate în tratamentul LASER şi permite obţinerea unor rezultate clinice excelente în FC, fiind puţin agresiv şi de durată scurtă.

- Asigură impacte multiple la un singur impuls pe pedală până la 25 impacte în fracţiuni de secundă
- Numărul de impacte şi forma pattern sunt predeterminate
- Aceste impacte antrenează difuzie minimă a efectului termic al LASERULUI în profunzime la coroidă şi straturile interne ale retinei, cu leziuni nesemnificative (sau absente) ale stratului nervos al retinei
- Inflamaţie minimă
- Energie mică pe cornee
- Aceeaşi profunzime a tuturor spoturilor
- Putere şi distribuţie uniformă a spoturilor
- Precizie şi eficienţă terapeutică
- Graţie duratei scurte a impulsurilor LASER Pascal NU induce efecte termice nocive, diminuă timpul de tratament, ameliorează confortul pacientului
- Indicat în tratamentul RD, OVCR, rupturi retiniene

Noul LASER Pascal permite medicului să controleze cu precizie flexibilitatea şi eficacitatea tratamentului

- Este posibilă personalizarea patternului, adoptându-se stării patologice oculare şi caracteristicilor anatomice ale ochiului
- Are parametrii predefiniţi.

- **Tratamentul LASER** este:

LASER PRIN FOTOCOAGULARE (FC)

Este folosit în RD, DMLV, OVR unde LASERUL se aplică direct pe retină, pe vasele sanguine sau proliferări vasculare cu vase anormale care pot antrena hemoragii sau edem

- FC laser a retinei în RD limitează extinderea şi proliferarea neovasculară, evitând agravarea bolii, dar ameliorează puţin (sau deloc) funcţia vizuală
- FC laser este
  - **FC focală** prin cauterizarea limitată a zonelor retiniene pentru reducerea edemului macular diabetic sau de alte cauze
  - **FC panretiniană** prin tratamentul zonelor de retină periferică prin microimpulsuri LASER repetate (la nevoie) în 4–6 şedinţe pe un ochi în FC clasică sub anestezie topică sau loco-regională, cu spaţii între şedinţe zile/luni după boală şi evoluţia ei

Scanned with OKEN Scanner

- FC panretiniană permite regresia neovaselor panretiniene și/sau prepapilare și reduce în procent de 90% cecitatea legată de RDP
- **prezența neovaselor iriene este indicație de urgență pentru panfotocoagularea retiniană.**

Tehnici de FC

- FC retiniană LASER argon
- Trabeculoplastie LASER argon
- Iridotomie Laser Yag
- Capsulotomie Laser Yag

Pentru tratamentul LASER se folosesc:

- **LASER Yag cu lungime undă 1064** cu lumină infraroșu (invizibilă ochiului) pentru tratamentul glaucomului cu unghi închis sau în OCP (după chirurgia cataractei) pentru secționarea membranelor intraoculare
- **Laser verde dublat în frecvență** – LASER argon sau Laser Yag/ND cu dublarea frecvenței
  - LASERUL cu lungime de undă 532 nm în spectrul luminii verzi este indicat în: RD și EMD, OVR, rupturi retiniene. **LASERUL 532 nm în lumină verde fiind gold standard pentru FC panretiniană**
- LASER SLT – trabeculoplastie selectivă este indicat la pacienții cu glaucom
  - reduce presiunea intraoculară (PIO) crescută cu scăderea frecvenței tratamentului medicamentos
  - previne intervenția chirurgicală extinsă în glaucom
  - se adresează țesutului pigmentar al rețelei trabeculare, tratamentul LASER ameliorând filtrarea umorii apoase prin trabecul

LASER PRIN SUDURĂ

Este folosit prin crearea punctelor de sudură cu LASER în jurul rupturii sau găurii retiniene urmate de țesut cicatricial aderent secundar punctelor de Laser, prin care retina rămâne fixată la peretele ocular, împiedicând dezvoltarea dezlipirii de retină

LASER INCIZIONAL

În chirurgia oculară refractivă.

INDICAȚIILE TRATAMENTULUI LASER ÎN SCOP TERAPEUTIC

- Retinopatia diabetică (complicație gravă a DZ necontrolat), reprezintă indicația majoră a tratamentului LASER în:
  - Edemul macular diabetic (sau alte cauze) refractar la tratamentul medicamentos

Scanned with OKEN Scanner

- RD proliferativă cu formare de neovase fragile care generează ischemie retiniană și/sau hemoragii vitreo-retino-coroidiene

– LASERUL este indicat în leziuni degenerative ale periferiei retinei, blocarea rupturilor în tratamentul dezlipirii de retină
– LASERUL în tratamentul glaucomului este indicat în glaucom cu unghi închis pentru scăderea PIO crescute, glaucom cu unghi deschis când tratamentul medicamentos nu mai controlează boala glaucomatoasă
  - În funcție de tipul de glaucom, progresie și evoluția bolii sunt indicate tehnici LASER diferite: iridotomie LASER în glaucom cu unghi închis, trabeculoplastie LASER în glaucom cu unghi deschis
– În degenerescența maculară legată de vârstă – DMLV (principala cauză de orbire în țările dezvoltate) stabilizarea vederii (sau evoluția lentă a degradării AV) se poate obține prin FC LASER retinian asociat cu injecție intravitreană anti-VEGF, Triamcinolon
– Tratamentul LASER este eficient în tratamentul opacifierii capsulei posterioare (OCP) după operația de cataractă complicată cu OCP cu ajutorul unui Laser fotodisruptor

INDICAȚIILE LASER ÎN SCOP PROFILACTIC

– Profilaxia DR pe al doilea ochi la pacienții cu DR pe primul ochi
– Profilaxia atacului de glaucom pe al doilea ochi

FOLOSIREA LASER ÎN CORECȚIA VICIILOR DE REFRACȚIE

– În miopie, hipermetropie, astigmatism este indicat tratamentul LASER în chirurgia refractivă, efectuat în ambulator, sub anestezie topică, tratamentul LASER care permite reducerea exactă a miopiei cu până la 6–7D, Hipermetropie 3–4D, Astigmatism cu 3D la pacienți peste 20 ani (cu stabilizarea dioptriilor) fără alte afecțiuni oculare sau sistemice
  - pacienții trebuie informați despre riscurile și beneficiile tratamentului efectuat
– în chirurgia refractivă LASER se folosește
  - LASER excimer pentru corecția viciilor de refracție cu reducerea dioptriilor și prognostic vizual remarcabil
  - LASER cu femtosecunde folosit în chirurgia refractivă, uneori în chirurgia corneană și în chirurgia cataractei

Scanned with OKEN Scanner

– LASERUL cu femtosecunde este folosit în chirurgia refractivă în tehnica LASIK pentru crearea flapului cornean (deşi mulţi chirurgi oftalmologi folosesc microkeratomul în efectuarea acestei tehnici)

Tratamentul LASER cu indicaţie corectă reprezintă o metodă terapeutică importantă, de mare utilitate în unele boli oculare grave, dar trebuie cunoscute riscurile şi complicaţiile acestei metode, iar pacientul trebuie informat

– riscul cel mai frecvent este sub sau supracorecţie
– riscul cel mai grav, dar foarte rar este infecţia 1‰

Efectele secundare posibile ale tratamentului LASER sunt rare

– incidente legate de anestezie
– inflamaţie oculară cu edem palpebral care se rezoarbe relativ rapid
– conjunctivită, keratită superficială
– creştere tranzitorie a TIO
– midriază
– edem retinian
– deteriorarea vederii periferice cu disconfort nocturn
– scăderea AV

Complicaţiile fotocoagulării

Complicaţiile grave ale FC sunt generate de o undă laser cu energie excesivă, prost dirijată:

– arsuri corneene
– tratamentul irisului poate antrena irite, şi poate produce zone de atrofie stromală
– anomalii pupilare pot surveni prin supradozaj cu afectarea nervilor ciliari lungi
– opacităţi cristaliniene
– neuropatie optică prin tratament FC direct pe papilă
– complicaţii corioretiniene
  • arsura accidentală a foveei – reperajul frecvent în timpul procedurii, util pentru menţinerea orientării este centrul foveei, care poate genera arsuri foveale (ar putea fi reduse prin anestezie peri, retrobulbară mai ales dacă tratamentul FC este juxtafoveolar)
  • ruptura membranei Bruch – poate determina hemoragie coriocapilară şi dezvoltarea NVC
  • leziuni retiniene
    – gaură retiniană în toată grosimea prin tratamentul intens
    – ocluzie vasculară
    – perforarea vaselor de sânge cu hemoragie preretiniană sau intravitreană
    – în FCP extinsă exacerbarea edemului la RD
  • leziuni coroidiene
    – NVC suplimentară
    – atrofie progresivă a EPR
    – ruptura EPR

Scanned with OKEN Scanner

- decolarea de retină exudativă și decolare coroidiană

- **Elemente de urgență oftalmologică postprocedură:**
  - scăderea AV
  - dureri oculare
  - secreții importante
  - ochi roșu
  - prezența de puncte negre sau strălucitoare în ochi

PRINCIPII DE BAZĂ ALE FOTOCOAGULĂRII

Fotocoagularea – FC folosește energia luminoasă pentru a coagula țesutul; energia luminoasă se transformă în energie termică și ridică temperatura post impact a țesuturilor (retină), ceea ce provoacă denaturarea proteinelor tisulare și necroza de coagulare.

Unda LASER se aplică transpupilar asociind lampa cu fantă, oftalmoscop indirect sau endofotocoagulare în timpul vitrectomiei.

Eficacitatea fotocoagulării depinde de transmiterea luminii care traversează țesutul ocular și de absorbția ei prin pigmentul din țesuturi [4].

- melanina – absoarbe lungimea de undă verde, roșu, infraroșu
- xantofila macular – absoarbe ușor albastru și puțin galben și roșu
- hemoglobina – absoarbe ușor albastru, verde, galben, minim roșu

- ***Laser monospot*** – sunt laseri multicolori: roșu, verde, galben, integrat la lampa cu fantă, cu reglarea spotului în dimensiune, putere, timp de expunere, frecvența undei.
- În funcție de lungimea de undă laserii sunt:
  - **LASER verde – lungime de undă 532 nm**
    - lumina verde este foarte bine convertită în energie termică în melanozomii EPR și este absorbită de melanină și hemoglobină
    - **este gold standard pentru coagulare panretiniană**
    - este indicat în **tratamentul anomaliilor vasculare ale retinei și a neovascularizației coroidiene**
  - **LASER roșu – lungime undă 659 nm**
    - traversează cataracta nucleară și hemoragia intravitreană moderată
    - este absorbit minim de xantofil
    - are penetrație subretiniană și este absorbit de hemoglobină
    - este indicat în **tratamentul complicațiilor neovascularizației coroidiene extrafoveolare în DMLV** și în **vascularizația polipoidă idiopatică**
    - este indicat în **tratamentul afecțiunilor situate în vecinătatea foveei**
    - provoacă arsuri mai profunde cu disconfort pentru pacient și are absorbție neomogenă la nivelul coroidei
  - **LASER galben – lungime undă 561–577 nm**

Scanned with OKEN Scanner

- are dispersie minimă în cataracta nucleară
- este absorbit de xantofil
- indicat în **tratamentul leziunilor neovasculare retiniene şi coroidiene**

- Efectele LASER la nivelul ţesutului retino-coroidian sunt:
  - **fotochimice** – lumina este absorbită de moleculele tisulare şi produc eliberarea de mediatori, radicali liberi
  - **termice** – absorbţia energiei laser de pigmenţi, antrenează ridicarea temperaturii locale cu denaturarea proteinelor
  - **vaporizare** – poate genera microexplozii în arsuri intense

INDICAŢIILE FOTOCOAGULĂRII LASER

- Patologie retiniană cu componentă ischemică în maladii vasculare ale retinei: RD, preproliferativă, proliferativă, edem macular focal, anomalii vasculare (micro, macroanevrism),
- retinopatia de prematuritate – ROP, Eales, striuri angioide
- cauze rare de neovascularizaţie sau ischemie periferică (drepanocitoză, maladie Coats)
  - LASERUL în aceste boli produce distrucţie parţială a zonelor retiniene ischemice
  - LASERUL aplicat direct pe vase permite ocluzia lor
- profilaxia DR în prezenţa leziunilor retiniene periferice – dehiscenţe, ruptură palisadă
  - în rupturile retiniene, se înconjoară ruptura cu puncte laser şi arsura pe retină induce o cicatrice solidă, durabilă, care împiedică evoluţia spre DR
  - LASERUL NU împiedică apariţia altor rupturi
  - uneori este necesar tratamentul laser extins cu baraj circular
- FC la nivelul segmentului anterior
  - capsulotomie prin tratament laser Yag-Nd în opacifierea capsulei posterioare
  - tratamentul laser în boala glaucomatoasă: iridotomie periferică LASER, trabeculoplastie, iridoplastie, ciclofotocoagulare, endociclofotocoagulare, hialoidotomie.

TRATAMENT LASER ÎN EMISIE CONTINUĂ

În FC cu emisie continuă fluxul de fotoni este constant şi durează peste 250 ms.
Dezavantajele folosirii laserului în emisie continuă:

- arsură retiniană definitivă, însoţită de pierderea sensibilităţii de contrast
- arsurile se pot extinde
- arsurile pot fi puncte de plecare pentru neovase coroidiene

Scanned with OKEN Scanner

LASERELE oftalmologice actuale operează cu lungimi de undă variate, cele mai utilizate fiind: verde (532 nm), galben (561 nm, 577 nm), roşu (660 nm, 670 nm), infraroşu (810 nm).

FOTOCOAGULAREA CONVENŢIONALĂ

TEHNICA LASER MONOSPOT-UNISPOT

- Fotocoagularea laser convenţională este folosită pentru tratamentul bolilor vitreo-retino-coroidiene.
- Fotocoagularea realizează arsuri retiniene vizibile punctiforme, manifeste clinic prin leziuni albicioase punctiforme pe suprafaţa retinei
  - albirea vizibilă a retinei se produce din cauza deteriorării termice a EPR şi a retinei interne
  - albirea nu ar fi necesară pentru efectul terapeutic, dar este un element de orientare clinică
  - paralel cu efectul terapeutic se produc efecte secundare nedorite: neovascularizaţie coroidiană în zona cicatricei LASER, fibroză subretiniană, defecte CV, scăderea AV periferice, hemeralopie, afectarea sensibilităţii de contrast
- Mecanismele responsabile de efectul terapeutic postlaser sunt parţial lămurite [5].
  - energia laser stimulează EPR cu ameliorarea barierei interne retinocoroidiene
    - celulele EPR traumatizate de arsură induc reglarea de factori multipli: factor derivat din EP-FDEP, inhibitori ai factorului de creştere endotelial vascular – VEGF, factori care restabilesc dezechilibru patologic
    - celulele EPR distruse prin efectul termic excesiv NU pot induce aceste modificări
  - după ce EPR este afectat de căldura absorbită de la unda LASER, începe procesul de vindecare, urmat de proliferarea EPR şi migrarea celulelor la locul leziunii [4].
- În aplicarea tratamentului laser PE RETINĂ este necesară **atenţie pentru a NU afecta centrul maculei,** tratamentul LASER putând produce leziuni termice importante cu scăderea permanentă a vederii.
- Fotocoagularea LASER poate fi:
  - **focală sau grilă,** în care energia luminoasă distruge ţesutul retinian lezat
    - ***tratamentul regiunii maculare*** se face actualmente NU prin LASER cu emisie continuă, ci ***prin LASER cu emisii scurte şi/sau micropulsat,*** cu distrucţia limitată a retinei externe NU în toată grosimea

Scanned with OKEN Scanner

- **panfotocoagularea** retiniană pentru distrugerea retinei periferice ischemice generatoare de factor de creştere vasculară VEGF care generează neovase retiniene
  - FC laser se face sub anestezie topică, peri sau retrobulbară, cu lentile de contact disponibile pentru realizarea fotocoagulării la lampa cu fantă.
  - Selecţia parametrilor de reglaj laser depind de intenţia de tratament, transparenţa mediilor, pigmentaţia FO – spot de talie mică necesită mai puţină energie decât un spot de talie mare şi expunere mai prelungită, necesitând energie mai mică dacă durata de expunere este mai scurtă la aceeaşi intensitate.

- **Fotocoagularea LASER a zonei maculare a retinei** – neovascularizaţie coroidiană extrafoveolară, anomalii ale EPR ca în CRSC
  - tratamentul LASER nu se administrează sub 500 µm de centrul foveei
  - tratamentul LASER al edemului macular este un spot de talie mică 100–200 µm şi durată de expunere scurtă < 0,1 secunde pentru a se obţine o arsură mică şi puţin intensă
  - pentru **edemul macular din RD, OVCR se foloseşte LASER verde sau galben aplicat direct pe microanevrisme situate între 500–3000 µm faţă de centrul maculei şi la 500 µm de marginea temporală a papilei [5].**
- **Fotocoagularea laser a retinei periferice** se realizează la lampa cu fantă sau oftalmoscop indirect
  - FC panretiniană (retinopexie laser) – se realizează arsuri LASER mai intense cu dimensiunea spotului 200–500 µm, puterea este ajustată pentru a obţine un spot de culoare crem, cu tratament până la arcadele vasculare şi NO sau iniţial se lasă o zonă de retină netratată 1–2 DP în jurul maculei şi al capului NO
  - evitarea nervilor ciliari lungi pe meridianul 3 şi 9
  - tratamentul iniţial poate fi concentrat şi mai dens pe retina inferioară pentru a evita pierderea de CV temporal şi inferior.
  - **tratamentul edemului macular coexistent trebuie tratat înaintea tratamentului retinei periferice**
  - se folosesc spoturi cu dimensiunea 200–500 µm care să producă leziuni albicioase.
- **Ablaţia LASER a leziunilor vasculare retiniene**
  - sunt tratate cu spoturi mari ≥ 500 µm, putere mai redusă, durată de expunere mai lungă pentru a produce coagulare lentă din interior spre exterior
- Terapia cu LASER, retinian a avansat semnificativ oferind proba timpului după 60 ani de utilizare (1961).
- Tehnologia LASER oftalmologică a fost îmbunătăţită cu noi tehnologii LASER selective care au optimizat rezultatele clinice şi au redus efectele secundare şi leziunile cicatriale tisulare.

Scanned with OKEN Scanner

- LASERII monopunct (spot) au progresat evoluând spre interfețe multipunct care asigură o eficacitate mai mare terapeutică pentru un timp mai scurt de tratament și cu efecte secundare reduse:
  - **majoritatea constructorilor de aparatură LASER, propun în prezent platforma multipunct cu integrarea mai multor lungimi de undă.**

TRATAMENT LASER ÎN EMISIE NONCONTINUĂ

TRATAMENTUL LASER „SUBTHRESHOLD", MICROPULSAT

- Tratamentul LASER micropulsat „subthreshold" subliminal, sub prag este o alternativă la tratamentul LASER convențional, care NU produce leziuni detectabile ale retinei oferind o fotocoagulare infraliminală, în care leziunile retiniene invizibile/puțin vizibile post arsură laser se extind la EPR, iar efectul termic la nivelul fotoreceptorilor și coriocapilarei este limitat [1].
- Unda continuă (CW) (standard) definește eliberarea constantă a energiei LASER, fapt care conduce la creșterea semnificativă a temperaturii în țesuturi.
- Modul micro-puls constă în fragmentarea razei LASER eliberate în modul continuu, în pachete repetitive de pulsuri scurte, permițând, astfel, răcirea țesutului între pulsuri cu absorbția selectivă la nivelul EPR cu reducerea încărcării termice și NU determină leziune retiniană vizibilă. Ideală este eliberarea standardizată multispot [2].
- Principiul metodei este următorul: se aplică impacte LASER micropulsate, de slabă intensitate, care, în timp ce sunt absorbite selectiv de EPR, nu determină niciun fel de leziune detectabilă
  - tratamentul nu țintește focal microanevrismele, ca în LASERUL convențional
  - prin aplicarea spoturilor cu densitate mare (confluent, contiguu), efectele tratamentului sunt amplificate.

Tehnica micropulsată, sub prag, cu LASER diodă este eficientă în EMD în lungime de undă 577 nm, edemul macular din obstrucțiile venoase retiniene și în corioretinita seroasă centrală în lumgime de undă 810 nm

- Răspunsul după panfotocoagularea retiniană micropulsată, sub-prag, cu LASER diodă este mai benign decât după PFCL convențională, dar similar cu cel după terapia cu anti-VEGF.
- Siguranța metodei a fost probată prin absența oricăror efecte secundare: leziuni retiniene, reacții inflamatorii.
- În FC cu LASER micropulsat fluxul de fotoni în regim pulsat durează între 10^{-3} și 10^{-15}s – duratele pulsurilor laser variază de la zeci de femtosecunde la infinit.

Scanned with OKEN Scanner

- Deoarece NU se produc efecte distructive retiniene, tratamentul poate fi repetat.
- ***Tehnica laser micropulsat subprag este superioară tehnicii laser convenționale.***
- **Laserul diodă micropulsat subprag – SDM** – care aplică LASER cu dioda micropuls 810 nm – SDM este eficientă în edemul macular din ocluziile venoase retiniene [3].
- Tratamentul cu LASER micropulsat subprag limitează deteriorarea EPR și reduc efectele secundare ale LASERULUI convențional produse prin leziuni termice ale retinei neurosenzoriale [3].
- Pentru laserul subliminal/„subthreshold" se folosește laser verde cu lungime undă 532 în sistem micropulsat, dimensiunea spotului 200 μm, durata 100 ms, putere 400–500 mw, lentilă de contact Meinster focal grid (1,05×) cu absența reacției tisulare vizibile în timpul tratamentului, cu cicatrici minime sau absente.
- Mecanismul de acțiune al tratamentului subliminal NU este clar, dar nivelul redus al stresului termic ar putea activa celulele din EPR și ar regla stimulul angiogenic VEGF în retina neurosenzorială, EPR, coroidă
  - laserul micropulsat schimbă activitatea metabolică a EPR, induc mai puțini mediatori inflamatori în retina neurosenzorială, modifică VEGF, IL6 și proteina chemotactică monocitică 1 – MCP1
  - deoarece durata de emisie a impulsurilor este extrem de scurtă, microsecunde, atingerea la fiecare puls a țesutului retinian este foarte mică, iar cicatricea este minimă sau absentă.
- Acest procedeu de terapie infraliminală cu impacte laser invizibile poate fi combinat cu un sistem multispot.
- Deși are avantaje tratamentul acestui tip de LASER are limite și necesită dozare LASER adecvată necesară efectului terapeutic, deoarece la ședința de LASER leziunile retinei sunt invizibile.
- S-au dezvoltat sisteme automate de control care pot detecta lumina retrodifuzată generată de microbule (formarea de microbule fiind modalitatea de reacție a țesutului retino-coroidian față de unda LASER) care poate opri unda LASER când se atinge un prag.

TEHNICA LASER MULTISPOT

În tratamentul FC LASER convențional poziționarea spoturilor este efectuată manual prin înclinarea lentilei de contact și prin deplasarea lămpii cu fantă.

În 2006 a fost introdusă tehnica de fotocoagulare LASER multispot, cu reducerea duratei de expunere de la 200 ms la 10 ms, cu diminuarea timpului de emisie a undei LASER cu un patern preselecționat, acționat rapid [4].

- LASERUL multispot este LASERUL în care sunt emise impacte multiple la un singur impuls pe pedală salve de impacte care urmează o schemă de impulsuri grupate – **pattern** – predeterminate

Scanned with OKEN Scanner

- spoturile au timp de expunere ultrascurt 20–50 milisecunde, intensitate mare și se succed foarte rapid în salve
- acesta poate crește eficacitatea tratamentului, dar NU produc un efect echivalent tratamentului LASER convențional cu un număr comparabil de spoturi
- sistemul – pattern – se suprapune imaginii retinei în timp real și este cuplat cu sistemul de distribuție LASER, ceea ce permite o planificare asistată de calculator a leziunilor retiniene în timpul tratamentului.

LASERII multispot asigură tratamentul semiautomat și reprezintă o tehnologie avansată importantă pentru tratamentul retinei extramacular, realizând cicatrici corioretiniene solide în tratamentul zonelor ischemice responsabile de formare de neovase și complicațiilor secundare ale NVR și în tratamentul DR.

- Raportat la FC clasică timpul de FC pe ședință se reduce și se optimizează repartiția impactelor și dozarea impulsurilor
  - timpul de expunere foarte scurt este foarte confortabil pentru pacient
  - poate fi programat în funcție de indicațiile de tratament.

FOTOCOAGULARE LASER NAVIGAT – *NAVIGATED LASER*

- În ultimii ani s-a dezvoltat o nouă tehnologie de tratament asistat prin calculator – FOTOCOAGULARE LASER NAVIGAT introdusă în 2009 inițial pentru tratamentul LASER macular.
- Prima generație avea cuplat angiograf. Recent este prezentă a doua generație a acestui tip de LASER, NAVILAS 577s în care NU este cuplat un angiograf, dar lipsa acestuia NU scade valoarea terapeutică a aparatelor (oricând poate fi cuplat cu un angiograf). Sistemul laser Navilas 577s este extrem de important pentru tratamentul LASER al retinei, în general și al maculei în special [6,10].
- Principiul tehnologiei NAVILAS presupune parcurgerea următorilor pași:
  - Fotografia color a fundului de ochi
  - Angiografia cu fluoresceină
  - Obținerea imaginii în infraroșu a fundului de ochi
  - Aplicarea fotocoagulării cu un laser Nd-Yag532 nm pe ariile identificate în urma suprapunerii imaginilor obținute în etapele inițiale
- Dispozitivul este prevăzut cu un sistem de urmărire a ochiului (*eye-tracking*) care determină un grad foarte ridicat de precizie și întrerupe tratamentul dacă pacientul mișcă ochiul.
  - Practic, întregul proces diagnostic și terapeutic este asistat de calculator.
  - Angiofluorografia, care identifică ariile de tratat, este proiectată pe imaginea fundului de ochi obținută în infraroșu, după care imaginea angiofluorografică este închisă.

Scanned with OKEN Scanner

- Planificarea tratamentului poate fi făcută și direct pe imaginea color a fundului de ochi.
- NAVILAS se caracterizează prin acuratețe și posibilitatea de a integra imaginile multimodal.
- Confortul pacientului este mult mai mare.
- Tratamentul este mai ușor de efectuat, iar arsurile din periferie sunt uniforme și egale ca intensitate.

- LASER Navilas este un sistem laser cu navigare retiniană și este primul LASER care permite un tratament planificat orientat prin fotografii FO și imagini OCT, AFG [11].
- **Tratamentul laser Navilas este indicat la pacienți cu: edem macular diabetic, edem macular secundar ocluziei venoase retiniene, macroanevrism arterial, CRSC, DMLV neovasculară depășită** [6].
  - pacienții sunt expuși unui tratament focal cu NAVILAS în zona patologică după un examen imagistic angiofluorografic sau verde indocianină și necesită control post terapeutic la 1, 3, 6 luni.
  - se constată o reducere semnificativă a edemului în OVR, reducere completă a lichidului subretinian în CRSC și o reducere a exudației în DMLV cu neovascularizație

PFC CU SISTEMUL NAVILAS

- PFC poate fi efectuată acum cu sistemul de urmărire a ochiului.
  - Sistemul LASER eliberează un model care este poziționat pe retină, independent de sistemul imagistic, utilizând scanări controlate de medic.
  - S-a observat că cicatricile obținute cu sistemul NAVILAS sunt mai uniforme decât cele cu PASCAL.

FOTOCOAGULAREA MACULARĂ CU NAVILAS

- Atât tratamentul laser macular focal, cât și cel grid pot fi efectuate cu un sistem de urmărire a ochiului care sporește acuratețea aplicării impactelor.
  - Acest lucru este deosebit de important în tratamentul focal, unde țintirea microanevrismelor responsabile de producerea edemului este crucială pentru eficiența terapeutică.
  - Fotocoagularea nu necesită aplicarea lentilei pe ochi, fiind urmărită pe ecranul computerului.

Cu ajutorul acestei tehnologii noi FC LASER este mai precisă, eficientă, și mai puțin dureroasă.

Scanned with OKEN Scanner

FOTOCOAGULARE PRIN SISTEM PASCAL

- Sistemul de fotocoagulare PASCAL – *Pattern scanning laser* – este un LASER 532 nm semiautomat, acționează prin impacte ultrascurte și reprezintă ultima noutate în domeniul LASER care permite obținerea unor rezultate clinice excelente în fotocoagulare fiind puțin agresivă și cu durată scurtă de tratament, ceea ce oferă pacientului confort terapeutic [18,19].
- FC se realizează cu laser cu impacte multiple la un singur impuls, care provoacă o salvă de impacte care urmează un *pattern* predeterminat.
  - Schema de impacte se suprapune pe patologia de tratat, numărul, forma fiecărui impact fiind egal predeterminată.

Sistemul PASCAL este un sistem laser cu baleiaj integrat, cu scanare LASER, folosit în tratamentul retinopatiilor din RD, DMLV, OVR, care funcționează prin impulsuri scurte 20 milisecunde până la 25 impacte în fracțiuni de secundă.

Sistemul PASCAL oferă un nou standard în tratamentul bolilor retinei și are o reală eficiență terapeutică, fiind cea mai bună metodă de tratament LASER în patologia oculară.

În sistemul Pascal se poate efectua tratament focal și panfotocoagulare foarte rapid, cu siguranță maximă [13].

- Impactele LASER au o difuzie redusă a efectului termic în profunzime, producând astfel leziuni minime retiniene în straturile nervoase și inflamație redusă chiar la un număr mare de impacte pe ședință.
- Deoarece durata impactelor este redusă, LASER Pascal induce efecte termice minime, scad timpul de tratament și ameliorează confortul pacientului (scad durerea percepută de pacient), [13].

Aparatul obține imagini color în timp real, rapid, asistat, cu reperarea zonelor anterior tratate.

Fascicolul LASER este foarte stabil prin prezența unui motor linear care asigură o precizie importantă.

Aparatul reprezintă o soluție extrem de utilă pentru tratament LASER, cu planificare avansată și integrare multimodală a imaginilor.

LASER PASCAL este eficient în tratamentul patologiei retiniene, minim invaziv, cu terapie efectuată ghidată de un calculator, fără cicatrici post aplicației LASER, cu posibilitate de reintervenție la nevoie.

Beneficiile LASERULUI Pascal bazate pe rezultate clinice cu menținerea AV preexistente postterapeutic sunt:

- performanță terapeutică cu reducerea timpului de tratament
- asigură confort pacientului în timpul tratamentului
- oferă precizie în tratamentul FC
- ușor de manipulat
- tratament precis.

Indicații clinice de folosință a LASER Pascal [14].

- FC retiniană – focal, grid, panfotocoagulare pentru anomalii vasculare, retiniene și coroidiene

Scanned with OKEN Scanner

- retinopatia diabetică non și proliferativă
- neovascularizația coroidiană
- ocluzie ram, venă centrală a retinei
- degenerescența maculară legată de vârstă
- degenerescență lattice
- găuri retiniene și DR

– FC pol anterior: iridectomii, iridotomii, trabeculoplastii în glaucom cu unghi închis, deschis.
– Tratamentul LASER Pascal este indicat pentru a opri sau încetini progresia unor boli oculare, previne și limitează scăderea vederii, dar NU ameliorează vederea.

PASCAL PENTRU PFC

- PFC convențională poate avea o serie de efecte secundare, datorate perturbării structurii retinei: pierderea periferiei câmpului vizual, tulburarea vederii nocturne, afectarea vederii centrale. La acestea se adaugă disconfortul pacientului și necesitatea efectuării mai multor ședințe de LASER.
- Avantajele PFC în sistem Pascal față de tehnologia LASER convențională sunt:
  – Durata scurtă a pulsului LASER se asociază cu eliberarea unei cantități mai mici de energie, fapt care are următoarele consecințe: diminuarea procesului de extensie a cicatricii, scăderea încălzirii coroidei și distribuirea mai uniformă a energiei
  – Tratamentul are o durată mai scurtă, cu sporirea confortului pacientului
  – Arsurile sunt mai mici, precise și omogene și ca urmare agresiunea asupra retinei este mai redusă și defectele de câmp vizual mult mai mici.
- Dezavantajul tehnologiei PASCAL față de cea LASER convențională este eficiența mai redusă la Pascal comparativ cu LASER convențional, în regresia formelor severe de retinopatie diabetică proliferativă.
  – Explicațiile posibile sunt: arsurile periferice sunt greu de focalizat cu sistemul PASCAL (datorită curburii ochiului care nu a fost luată în calcul la planificarea modelului de rețea), neuniforme, mai puțin intense și mai mici, deci mai puțin eficiente.

PASCAL PENTRU FOTOCOAGULAREA LASER MACULARĂ

Sistemul PASCAL eliberează spoturi multiple, într-o secvență rapidă, predeterminată, sub forma unor modele predeterminate de rețele produse de un scaner. Durata unui puls este redusă la 10–34 ms.

– Scopul este de a maximiza efectul terapeutic și de a minimiza efectele distructive secundare.
– Tratamentul este sigur, confortabil și la fel de eficient ca și laserul convențional.

Scanned with OKEN Scanner

- Eficacitatea tehnicii PASCAL a fost dovedită și în tratamentul edemelor maculare din obstrucțiile de ram venos retinian obiectivată prin SD-OCT.

FOTOCOAGULAREA RETINIANĂ ȚINTITĂ (FRT)

- Terapia țintită sau selectivă are ca scop blocarea unei ținte specifice fiind folosită în tratarea selectivă a ariilor de ischemie retiniană și a ariilor retiniene intermediare care demonstrează leakage pe AFG, concomitent cu minimizarea unor riscuri asociate cu PFCL convențională [18].
  - **AFG „wide field" a făcut posibilă intrarea în scenă a acestui concept terapeutic nou, fiind în măsură să identifice ariile de non-perfuzie retiniană periferică.**
- Efectele benefice ale FRT efectuată cu PASCAL în:
  - RDP sunt evidențiate prin: regresia neovascularizației retiniene, absența creșterii grosimii maculare, ameliorarea grosimii retiniene centrale și a sensibilității câmpului vizual.
  - În obstrucția de venă centrală retiniană, distrugerea selectivă prin FRT a ariilor de ischemie retiniană periferică identificate prin AFG „wide field" ar putea fi mai puțin eficientă decât în RDP.

CHIRURGIA REFRACTIVĂ LASER (CHIRURGIE FĂRĂ OCHELARI)

Chirurgia refractivă LASER modifică profilul cornean în porțiunea anterioară pentru a corecta miopia, hipermetropia, astigmatismul

- a fost introdusă în 1983 în Germania, în 1985 în America de Nord

Un bilanț refractiv complet, confirmă diagnosticul și dacă pacientul beneficiază de chirurgia refractivă LASER se va indica tehnica chirurgicală adecvată.

- Noile tehnologii în chirurgia refractivă LASER folosite după 1990 asigură performanță terapeutică reală în corecția viciilor de refracție, cu corecția miopiei, hipermetropiei, astigmatismului la milioane de oameni în întreaga lume.
- Factori de risc care pot reduce eficacitate tratamentului LASER refractiv:
  - Uscăciune corneană preexistentă
  - Maladii inflamatorii cronice: LES, artrită reumatoidă, DZ
  - Miopie forte >
  - Midriază < 5 mm

Chirurgia refractivă se face cu LASER excimer și Laser Femtosecunde (care reprezintă noutatea terapeutică actuală).

Scanned with OKEN Scanner

Femtolaser

Denumirea Femtolaser vine de la durata scurtă a pulsurilor emise -10–15 s. (un cvadrilion dintr-o secundă, cu efecte minime pe țesut).

Femtolaserul în chirurgia refractivă LASER a corneei se folosește în:

- Crearea voletului cornean
- Keratotomii astigmatice
- A tunelului pentru implantarea inelelor corneene intrastromale
- Corecția presbiopiei
- Tehnici FLEX, SMILE

Femtolasik

Femtolasik se realizează prin fotoclivaj, un volet cornean microscopic cu decuparea unei porțiuni superficiale a corneei cu diametru 9 mm și grosime 110 microni

- Chirurgul sub microscop ridică acest volet pentru a expune zona corneană care va fi fotoablată, după care chirurgul repune voletul pe suprafața corneei
- Tehnica permite recuperarea vizuală rapidă.

Femtolasik este o tehnică automatizată de mare precizie, puțin incisivă și nedureroasă.

Implant precristalinian pentru corecția miopiilor și hipermetropiilor mari care sunt inoperabile cu LASER

- Chirurgul sub microscop plasează în ochi între iris și cristalin o lentilă intraoculară

Chirurgia cristalinului cu femtolaser

Femtolaserul realizează:

- Incizia
- deschiderea anterioară a capsulei cristaliniene va fi circulară și centrală
- fragmentarea cristalinului cu diminuarea cantității de ultrasunete folosite

Această tehnologie femtocristaliniană aduce precizie și securitate intervenției chirurgicale, operație de precizie care trebuie efectuată de un operator chirurg experimentat.

BIBLIOGRAFIE

1. Fazel F, Bagheri M, Golabcki K *et al.*, Comparison of subthreshold diode LASER micropulse therapy, *versus* conventional photocoagulation laser therapy as primary treatment of diabetic maculare edema, J. curr. Ophtalmol 2016, 28/4, 206–211.
2. Parodi MB, Spasse S, Iacono P *et al.*, Subthreshold grid LASER treatment of maculare edema secondary to branch retinal vein occlusion with micropulse infrared (810 nanometer) diode LASER, Ophtalmology 2006, 113/12 2237–2242.
3. Ingaki K, Isedo A, Ohkoshi K, Retinal sensitivity following subthreshold diode LASER micropulse photocoagulation for diabetic maculare edema – Nippon Ganka Gakka Zasshi – 2011, 115/1, 13–19.

Scanned with OKEN Scanner

4. Jio Li, Yannis Mantas Paulus, Advances in retinal LASER therapy – Int I. Ophtalm. Ress 2018, 4/1, 259–268.
5. Monique Remilleux, Rétine et vitré: therapies LASER pour les maladies du segment posterieur, Elsevier, 2018.
6. Jay Chhablani, Igor Kozak, Guilit Barteseeli, Sharif El Emane, A novel navigated LASER system bring new eficacy to the treatment of retinovascular, disorders – Oman J. Ophtalm 2013, 6/1, 18–22.
7. Parodi MB, Iacono P, Ravalico G. Intravitreal triamcinolone acetonide combined with subthreshold grid LASER treatment for macular oedema in branch retinal vein occlusion: a pilot study. *Br J Ophthalmol.* 2008;92(8):1046–1050. Doi: 10.1136/bjo.2007.128025. (PubMed) (CrossRef)(Google Scholar).
8. Schatz H, Yannuzzi LA, Gitter KA. Subretinal neovascularization following argon laser photocoagulation treatment for central serous chorioretinopathy: complication or misdiagnosis? *Retina.* 2012;32:OP-893-OP-906. Doi: 10.1097/IAE.0b013e318242fa2d. (PubMed) (CrossRef) (Google Scholar).
9. Bandello F, Lanzetta P, Furlan F, Polito A. Non visible subthreshold micropulse diode LASER treatment of idiopathic central serous chorioretinopathy. A pilot study. *Investig Ophtalmol Vis Sci.* 2003;44(5):4858. (Google Scholar).
10. Fusae Kato, Miho Nozaki, Aki Kato *et al.* Evaluation of navigated LASER photocoagulation (Navilas 577+) for the treatment of refractory diabetic maculare dema, Journal of Opht, 2018.
11. I Kozak, SF Oster, MA Cortes *et al.*, Clinical evaluation and treatment accuracy in diabetic macular edem using navigated LASER photocoagulator Navilas, Ophtalmology – 188/6, 119–24, 20011.
12. EV Boiko, DS Mattsev, Combination of navigated macular edem under dry retinal condition, Journal of Ophtalmology, 2017.
13. C. Favaro, M. Manget Faysee, 142 intérét du LASER PASCAL pour le traitement des pathologies de la périphérie rétinienne, J. Francais d'Opht, 2009, 32/51.
14. P.H. Gabrielle, P. Masin, L. Kadjikian *et al.*, Central retinal thickness following panretinal photocoagulation using a multispot semiautomated PASCAL to treat ischaemic diabetic retinopathy, Acta oftalmologică, 2019.
15. J. haut, S. Limou, M. Masson, G. Perdriel, Le LASER en ophtalmologie, Masson.
16. Ashuk Garg, J.T. Lin, Jorje L.A., LASER aplications in ophtalmology, Jaypee.
17. Kumar Atul, Kumar Marsh *et al.*, Lasers in ophtalmology, Jaypee, 2014.
18. Dumitrache M. – Tratament chirurgical și laser în bolile oculare – Editura Universitară „Carol Davila", 2012.
19. Dumitrache M. – Managementul în bolile oculare, Ed. Medicală – 2019.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 5

CHIRURGIA REFRACTIVĂ LASER A CORNEEI

HORIA T. STANCA, BOGDANA TĂBĂCARU, ANA MARIA STANCA

- Chirurgia refractivă este o subspecialitate chirurgicală a oftalmologiei ce vizează modificarea statusului refractiv al ochiului prin proceduri invazive, adresate fie corneei, fie cristalinului, proceduri ce pot corecta în prezent toate viciile de refracție [1,2].
- Procedurile și tehnologia utilizate în chirurgia refractivă sunt numeroase și au evoluat mult în ultimele două decenii.
  - în prezent, **chirurgia refractivă laser a corneei** (denumită și chirurgie LASER keratorefractivă) este cel mai frecvent utilizată și oferă rezultate vizuale predictibile, în condițiile unor intervenții sigure, eficiente și rapide [1,2].
- Pentru **chirurgia refractivă intraoculară** chirurgul poate opta atunci când valorile refractive depășesc limitele de ablație ale chirurgiei LASER corneene ori există contraindicații pentru acest tip de chirurgie.
  - chirurgia refractivă intraoculară se adresează modificării dioptrice a cristalinului prin:
    - păstrarea statusului fakic al ochiului și plasarea intraoculară a unei lentile speciale (***„fakic-IOL"***),
    - înlocuirea cristalinului natural cu unul artificial (***RLE „refractive lens exchange"***, înlocuirea cristalinului în scop refractiv) [1,3,4].
- Cercetările privind posibilitatea intervenției în scop refractiv la nivel cornean au început în anul 1869, când Herman Snellen, bazându-se pe observația că cicatricile corneene post chirurgia cataractei sunt astigmatogene, a emis ipoteza unei posibile corecții a astigmatismului cornean [1,5].
  - prima corecție a astigmatismului postchirurgical prin realizarea unei incizii limbice pe meridianul cel mai refringent a fost realizată de Hjalmar Schiötz în anul 1885 [1,6]. Ulterior, William Horatio Bates a înaintat ideea unor incizii la nivelul corneei anterioare în vederea simetrizării corneei [1,6].
- Chirurgia incizională corneană pentru corecția miopiei a dominat prima jumătate a secolul al XX-lea.
  - inciziile la nivelul corneei posterioare interesând membrana Descemet au fost propuse de Tsutomu Sato [1,6].

Scanned with OKEN Scanner

- după anii 1950, inciziile corneene au fost limitate la corneea anterioară și practicate de chirurgi precum Yenaliev, Fyodorov și Durnev [1,7].
- în anul 1974, Svyatoslav Fyodorov a îmbunătățit tehnica inciziilor radiare prin controlul profunzimii acestora și neinteresarea corneei centrale [1,6].

• În anul 1949 José Barraquer publică prima lucrare ce se referă la modificarea formei corneei prin adăugare ori eliminare de țesut [1,8,9].
- chirurgia refractivă lamelară corneană va evolua în următoarele decenii prin apariția și îmbunătățirea unor numeroase tehnici: keratomileusis, stromectomia, keratoplastia lamelară anterioară, keratofakia, epikeratofakia și implantarea de inele corneene intrastromale [1,5,8].

• De numele lui Theodore Maiman se leagă era tehnologiei LASER, acesta utilizând pentru prima dată în anul 1960 un laser cu rubin [1,5].
- utilizarea halogenurilor gazelor rare în radiația laser a început să fie studiată în anul 1973, pentru ca în anul 1975, Stuart Searles să producă primul laser excimer utilizând bromura de xenon, iar în 1976 radiația LASER excimer să fie produsă de către fluorura de argon [1,8].

• La începutul anilor '80, John Taboada (de la Forțele Aeriene din Texas) și Rangaswamy Srinivasan (inginer IBM) iau în considerare utilizarea LASERULUI excimer pentru scopuri medicale [1,10], identificând fenomenul de fotoablație.
- Stephen Trokel este cel care introduce LASERUL excimer spre a fi utilizat pe ochi de animale, pentru diverse corecții refractive [1,11], în anul 1984 realizându-se primele studii ce au generat calcule ale ablațiilor și descoperindu-se puterea de vindecare fără cicatrice a suprafeței corneene ablate [1,8].
- **în anul 1985 laserul excimer a fost utilizat** pentru prima dată de către Theo Seiler asupra unui ochi uman funcțional, prin **tehnica PTK (keratectomie fototerapeutică)** [1,8,12].

• Primele proceduri PRK au fost realizate la începutul anului 1988 de către Marguerite McDonald, inițial la un ochi funcțional dar care urma să fie enucleat (pentru melanom malign) și ulterior la un ochi considerat nefuncțional (cu neuropatie optică) dar care în urma corecției refractive a recuperat în vedere (reconsiderându-se astfel diagnosticul inițial ca fiind cecitate isterică) [1,13].
- **procedura PRK utilizând laserul excimer a fost aprobată de către FDA în anul 1995**, după studiul de fază III condus de Marguerite McDonald și Steve Kaufmann [1,10,12].

• **Tehnica LASIK a fost introdusă în anul 1990** de către Ioannis Pallikaris, **care a realizat ablația LASER excimer la nivelul stromei corneene sub un volet cu balama situată nazal, fără suture** [1,11,12].
- în anul 1993, Stephen Slade a introdus microkeratomul automat pentru realizarea voletului [1,8].
- în anul 1994, Pallikaris și colaboratorii au arătat **superioritatea tehnicii LASIK comparativ cu PRK în ceea ce privește stabilitatea și predictibilitatea, pentru pacienți cu miopie de peste 10 dioptrii** [1,8].

Scanned with OKEN Scanner

- Lucio Buratto propune și realizează în 1997 tehnica LASIK în care balamaua voletului este situată superior, minimizând astfel riscul de deplasare a voletului în perioada postoperatorie imediată [1,8].
- tehnica LASIK a fost aprobată de către FDA în anul 1999 [1,8,14].

- Primul **femtolaser** a fost dezvoltat de către Ronald Kurtz și Tibor Juhász în anul 1997 [1,15], fiind utilizat pentru prima dată în chirurgia keratorefractivă în anul 1999 de către Imola Ratkay-Traub, **înlocuind în tehnica LASIK utilizarea microkeratomului în etapa de realizare a voletului cornean** [1,15,16].
- Utilizarea femtolaserului a fost implementată experimental în tehnici în care LASERUL excimer nu mai era necesar, prin crearea unei lentile tisulare intrastromale care să fie îndepărtată manual, inițial la ochi de animale în anul 1998 și ulterior la ochi umani parțial funcționali în anul 2003 [1,17,18].
  - tehnica denumită FLEx (extracția lentilei tisulare intrastromale asistată de femtolaser) a fost introdusă pentru a fi utilizată terapeutic în anul 2007 [1,17], prima intervenție fiind realizată de către Walter Sekundo [1,18].
  - a urmat în anul 2011 apariția tehnicii SMILE [1,17,19-21].
- Structura transparentă a corneei este inertă față de radiația luminoasă din spectrul vizibil, aceasta fiind transmisă în interiorul globului ocular către cristalin și ulterior către retină, fără a fi absorbită de țesutul cornean [1,22].

FEMTOLASERUL

- Femtolaserul este un LASER în stare solidă [1,23] a cărui lungime de undă de 1053 nm se situează în spectrul infraroșu apropiat, ce produce un efect fotodisruptor asupra țesuturilor transparente, precum corneea [1,22,24].
  - denumirea femtolaserului provine de la durata scurtă a pulsurilor emise, care este foarte mică, de ordinul femtosecundelor, adică de 10–15 secunde (un cvadrilion dintr-o secundă) [1,22,25].
  - durata scurtă a pulsurilor asigură o înaltă precizie a tratamentului, efectul asupra țesutului înconjurător fiind minimă [1,22].
  - impulsurile ultrascurte emise de femtolaser au un diametru foarte mic de aproximativ 1 μm [1,26], produc vaporizarea unor volume mici de țesut, apărând astfel zone de microcavitație intratisulare [1,27,28].
- **Femtolaserul are numeroase aplicații în chirurgia refractivă laser a corneei în**: [1,29,30].
  - crearea voletului cornean (figura 1)
  - keratotomiilor astigmatice
  - a tunelului în vederea implantării inelelor corneene intrastromale
  - corecția presbiopiei precum
  - în tehnicile FLEx și SMILE (figura 2);

Scanned with OKEN Scanner

– în chirurgia oftalmologică, femtolaserul mai este utilizat în tehnicile de keratoplastie lamelară anterioară și posterioară (atât pentru tratamentul corneei gazdă cât și al grefonului) și în chirurgia cataractei pentru construirea inciziilor perforante, a capsulorhexisului și pentru fragmentarea nucleului cristalinian [1,29,30].

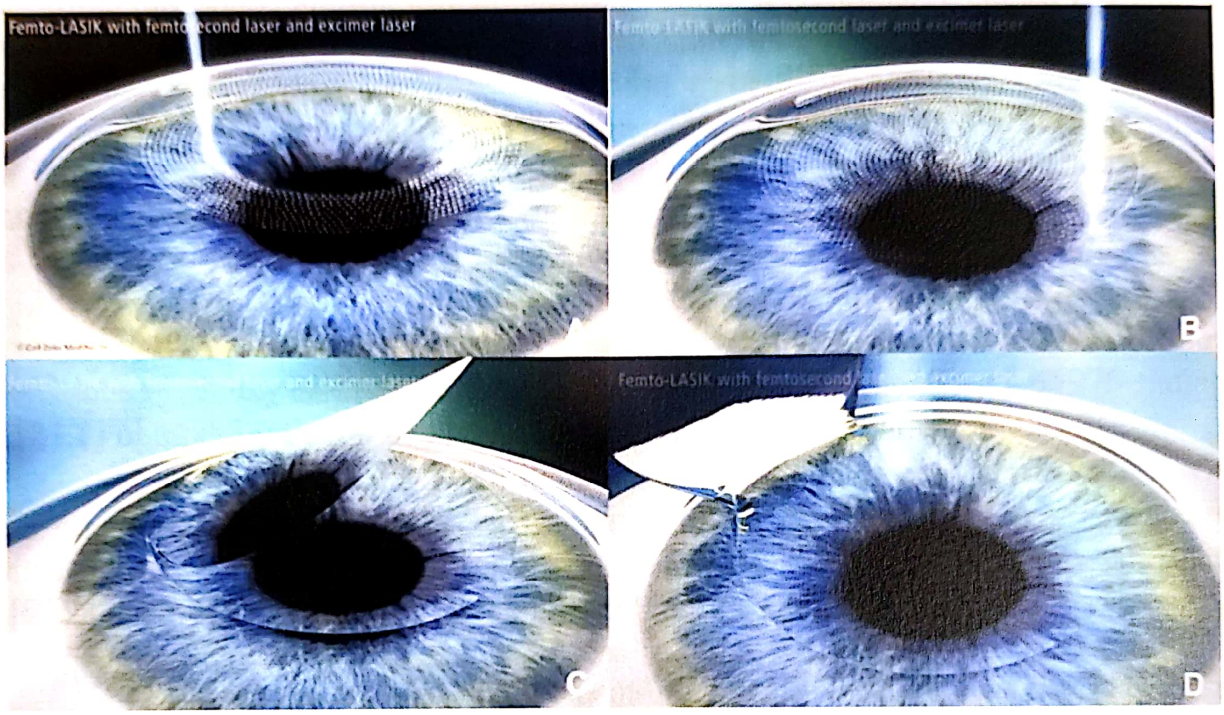


Figura 1. Imagini succesive (A-D) evidențiind acțiunea femtolaserului VisuMax® (Carl Zeiss, Germania) pentru crearea voletului cornean în tehnica FemtoLASIK imagini succesive. *Sursa*: https://www.zeiss.com/meditec/int/product-portfolio/refractive-lasers/femtosecond-laser-solutions/visumax.html, [31] accesat 17 Iulie 2020.

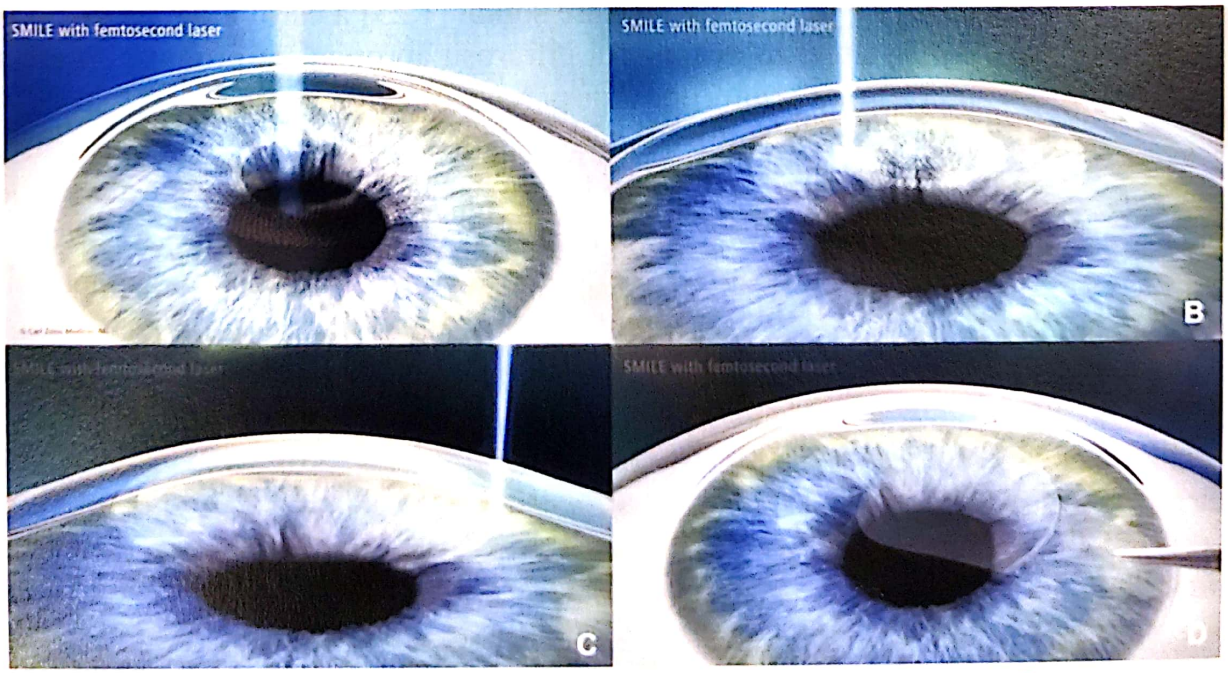


Figura 2. Imagini succesive (A–D) evidențiind acțiunea femtolaserului VisuMax® (Carl Zeiss, Germania) în tehnica SMILE. *Sursa*: https://www.zeiss.com/meditec/int/product-portfolio/refractive-lasers/femtosecond-laser-solutions/visumax.html, [31] accesat 17 Iulie 2020.

Scanned with OKEN Scanner

LASERUL EXCIMER

- LASERUL excimer este un laser în stare gazoasă (ce utilizează fluorură de argon) a cărui lungime de undă de 193 nm, situată în spectrul ultraviolet, este absorbită la nivel cornean, la care produce un efect fotochimic de tip fotoablativ și un efect fototermic secundar [1,24].
  - efectul fotoablativ apare prin ruperea legăturilor covalente intra și intermoleculare carbon–carbon și carbon–azot din structura colagenului stromei corneene, fragmentele de volum mic astfel create fiind înlăturate cu fiecare impuls al radiației LASER [1,9,23,24,32].
  - prin înlăturarea țesutului cornean se poate modifica curbura corneei în vederea tratamentului ametropiilor sferice ori cilindrice [1].
  - LASERUL excimer a fost studiat și dacă poate fi utilizat ca un „bisturiu LASER" pentru proceduri chirurgicale corneane ce implică incizii însă s-a dovedit a fi inadecvat din acest punct de vedere, acțiunea laserului creând o lipsă de substanță, nu o incizie [1].
- Există trei tipuri de sisteme de emisie a radiației LASER:
  - sisteme cu fascicul larg, sisteme prin scanare cu fantă
  - sisteme prin scanare cu impuls multiplu (sau impuls zburător, „flying spot") [1,23,26,33,34].
    - sistemul de scanare cu impuls multiplu reprezintă cea mai nouă generație de emisie LASER și oferă ca avantaje [1,23,24,33]:
      - omogenitatea fasciculului
      - reducerea energiei emise
      - reducerea efectului fototermic
      - posibilitatea tratării unor plaje extinse de dioptrii și a unor profile asimetrice de ablație, ghidate topografic ori cu ghidaj aberometric.
- Sistemele de urmărire oculară („*eye-tracking*") sunt dispozitive ce compensează mișcările involuntare ale ochiului, capului și corpului pacientului, acestea repoziționând în permanență fasciculul laser în concordanță cu planul de tratament [1,33].
- Ablația corneană în tehnicile de chirurgie refractivă tip LASIK este cea mai utilizată aplicație a LASERULUI excimer (figura 3) [1].
- Față de corecția viciului de refracție și implicit a îmbunătățirii acuității vizuale necorectate, o atenție deosebită se îndreaptă și asupra ameliorării sensibilității de contrast și a reducerii disfotopsiilor în vederea nocturnă, pentru obținerea a ceea ce a fost denumit „supervedere" [1,35].
  - astfel, sistemele moderne de tratament laser excimer oferă posibilitatea personalizării acestuia în funcție de topografie sau aberometrie (tehnica wavefront) [1,35].
  - o ablație excimer personalizată, utilizând informațiile provenite din aberometrie poate limita apariția aberațiilor optice de grad înalt (HOA) și în unele cazuri să le reducă pe cele preexistente [1,36].

Scanned with OKEN Scanner

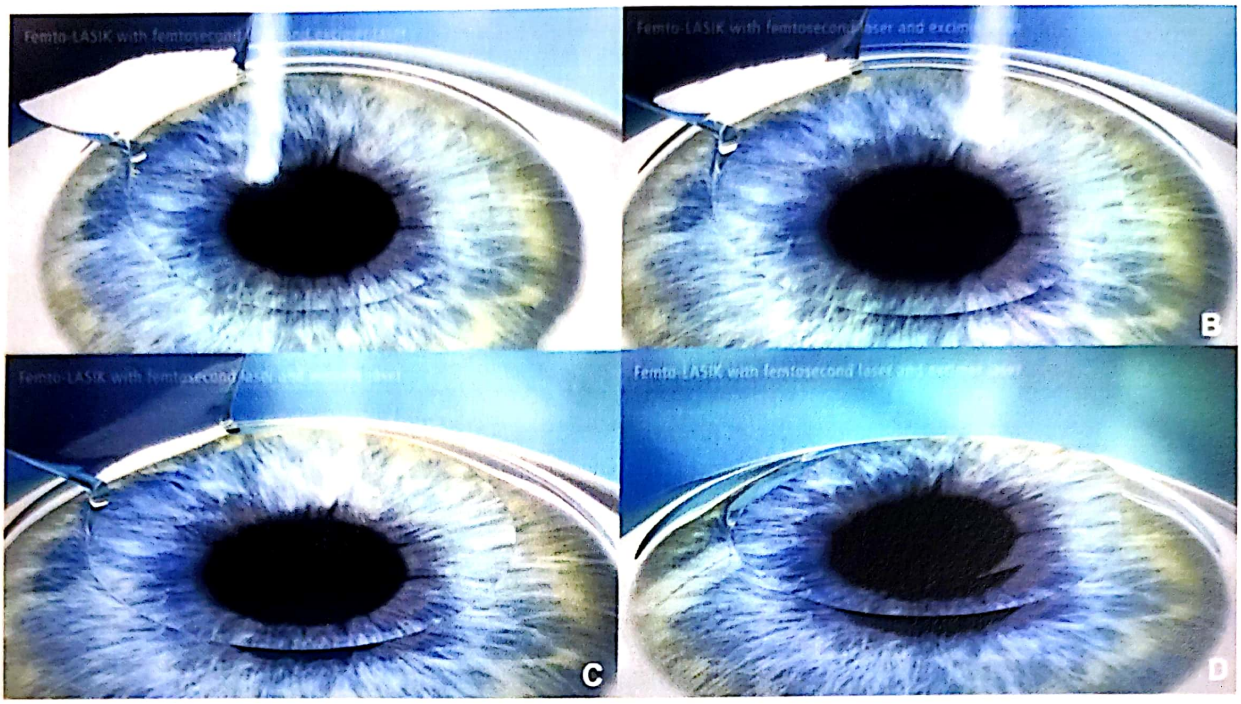


Figura 3. Imagini succesive (A-D) evidențiind acțiunea LASERULUI excimer Mel90® (Carl Zeiss, Germania) în tehnica SMILE. *Sursa*: https://www.zeiss.com/meditec/int/product-portfolio/refractive-lasers/femtosecond-laser-solutions/visumax.html, [31] accesat 17 Iulie 2020.

- Acțiunea LASERULUI excimer este diferită, în funcție de tipul de ametropie tratată.
  - în miopie, LASERUL excimer înlătură țesut cornean din centrul corneei, pentru a scădea puterea dioptrică a corneei prin creșterea razei de curbură a acesteia, corneea devenind astfel mai aplatizată [1,34].
  - în cazul hipermetropiei, scopul tratamentului este creșterea puterii de convergență a corneei prin scăderea razei de curbură. În acest sens, laserul excimer înlătură țesut din zona periferică a corneei, aceasta devenind relativ mai ascuțită [1,34].
  - pentru pacienții astigmați, fasciculul laser acționează asupra meridianului ce nu focalizează razele pe retină, în cazul astigmatismelor simple sau asupra ambelor meridiane, în cazul astigmatismelor compuse sau mixte [1,37].
    - axele ascuțite vor fi aplatizate prin înlăturarea de țesut din zona centrală a corneei, similar ablației din cazul miopiei, doar că în cazul astigmatismului miopic ablația va viza doar un anumit meridian [1,37].
    - în mod similar, în cazul astigmatismului hipermetropic, se va realiza bombarea relativă a unui meridian prin îndepărtare de țesut cornean în zona periferiei medii a respectivului meridian [1,37].
    - în mod clasic, în cazul astigmatismelor mixte tratamentul laser este realizat prin abordarea cilidrului pozitiv sau cea a cilindrului negativ în care inițial este tratat meridianul aplatizat ori cel ascuțit și ulterior ablația se adresează doar componentei sferice reziduale [1,38–40].
  - este posibil însă ca întregul viciu de refracție să nu poată fi tratat printr-o astfel de abordare [1,38,41].

Scanned with OKEN Scanner

- în această situație se utilizează fie metoda cilindrilor încrucișați în care tratamentul refractiv este divizat în trei etape:
  - tratamentul a doi cilindri perpendiculari de aceeași magnitudine și semn opus urmat de tratamentul componentei sferice [1,39,40].
  - metoda bitorică în care toată eroarea refractivă este împărțită în doi cilindri, unul pozitiv și unul negativ, cu ax perpendicular unul pe celălalt, care vor fi tratați separate [1,38,40,41]. Abordarea bitorică oferă avantajul unei grosimi mai reduse a țesutului cornean ablat comparativ cu metoda clasică [1,39–41].
- în cazul unei abordări secvențiale, dispozitivele laser excimer moderne permit întregul tratament în aceeași sesiune operatorie [1,39,40].

INDICAȚIILE CHIRURGIEI REFRACTIVE

- Corecția viciilor de refracție a fost și este realizată prin utilizarea lentilelor de corecție, fie aeriene (ochelari) fie sub forma lentilelor de contact [1,5].
  - ochelarii pot avea un impact negativ pentru unii pacienți, fie din punct de vedere estetic, fie în situații deosebite precum: practicarea activităților sportive, încadrarea în serviciile militare, vicii de corecție mari ce implică lentile grele și groase ce distorsionează imaginea ori se montează dificil în ramă [1,5]. De asemenea, există situații când corecția cu ochelari nu este posibilă ori nu poate corecta integral viciul de refracție precum anizometropiile ori viciile de refracție complexe cu dioptrii cilindrice mari [1].
  - lentilele de contact pot reprezenta o alternativă a corecției cu ochelari însă prezintă dezavantaje precum: plaja limitată de dioptrii în special a componentei torice, alterarea calității filmului lacrimal, discomfortul la purtare, curba de învățare privind plasarea și înlăturarea de pe suprafața oculară, necesitatea unor controale oftalmologice frecvente, risc de infecție [1,5].
- **Pentru situații în care corecția optică cu ochelari ori cu lentile de contact nu este dorită sau nu este posibilă, se va recurge la o soluție chirurgicală în scop refractive [1].**

EVALUAREA PREOPERATORIE ÎN SCOPUL CHIRURGIEI REFRACTIVE

- Evaluarea preoperatorie are ca scop selecționarea doar a acelor pacienți care sunt buni candidați pentru chirurgia refractivă, atât din punct de vedere anatomic cât și psihologic, pentru a evita tratamentul unor pacienți pentru care există riscuri ori a acelora cu așteptări nerealiste [1,42].

Scanned with OKEN Scanner

  - un candidat bun pentru chirurgia refractivă laser este un pacient ce își dorește independență față de corecția cu lentile aeriene ori cu lentile de contact și care a înțeles beneficiile chirurgiei refractive dar și limitele și posibilele complicații ale acesteia [1,26].
- **Vârsta minimă pentru intervenții keratorefractive laser este de 21–23 ani** [1,26,37,43-45], **acuitatea vizuală corectată este recomandabil să fie bună la ambii ochi** [1,26], **refracția stabilă de cel puțin un an** [1,26] **iar ametropia ce urmează să fie corectată să se încadreze în limitele unei ablații sigure pentru tehnica aleasă** [1,26,37,46].
- Anterior evaluării în vederea chirurgiei refractive, pacienții purtători de lentile de contact vor trebui să oprească portul acestora, acestea putând induce rezultate artefactuale ale testelor și investigațiilor preoperatorii, prin modificările de curbură corneană pe care le produc [1,33,42].
  - este recomandat ca lentilele de contact moi să fie îndepărtate cu 7–14 zile înaintea evaluării,
  - cele dure cu 3–4 săptămâni [1,26,34,42].
- Vor fi testate și evaluate preoperator:
  - Acuitatea vizuală fără corecție (UDVA, „Uncorrected Distance Visual Acuity") [25,40,45].
  - cea mai bună acuitate vizuală corectată (BCVA, „Best Corrected Visual Acuity") pentru distanță și pentru apropiere [1,26,42,47].
  - sensibilitatea de contrast [1,26,42,47].
  - refracția manifestă [1,26,42,47].
  - refracția sub cicloplegie [1,26,42,47].
  - refracția de începătoșare, pentru viciile de refracție hipermetropice [1,26,42,47].
  - alinierea și motilitatea oculară [1,37,42].
  - dominanța oculară [1,26,47].
  - keratometria în zona centrală de 3 mm [1,47].
  - pahimetria, ideal determinată prin ultrasonografie [1,26,42].
  - examinarea anatomiei orbitale, palpebrale sau oculare, care ar putea face imposibilă folosirea adecvată a microkeratomului mecanic sau a femtolaserului [1].
  - examinarea biomicroscopică a polului anterior [1,37,42].
  - examinarea fundului de ochi cu midriază farmacologică [1,37,42].
  - testul Schirmer și timpul de rupere al filmului lacrimal [1,37].
  - determinarea dimensiunilor pupilei în lumină scotopică, mezopică și fotopică [1,42,47-49].
  - topografie / tomografie corneană computerizată [1,50].
  - aberometrie, în cazul tehnicilor personalizate [1].
- Când astigmatismul determinat la refracția manifestă și cea subiectivă diferă semnificativ de cel determinat prin topografia corneană, trebuie luat în calcul astigmatismul cristalinian [1].
  - chirurgia keratorefractivă este destinată să corecteze astigmatismul total identificat pe refracție [1].

Scanned with OKEN Scanner

- în prezența astigmatismului cristalinian semnificativ trebuie avută o atenție deosebită pentru identificarea cataractei incipiente. În această situație, chirurgia cristalinului în scop refractiv poate fi o opțiune mai bună pentru pacient față de chirurgia keratorefractivă [1].

- După o evaluare oftalmologică amănunțită, discuția cu pacientul va fi reluată, explicându-i-se opțiunile de tratament, tehnicile disponibile și cea care îi este recomandată, beneficiile și limitele procedurii, precum și posibilele riscuri, efecte secundare și complicații [1,34]. Vor fi avute în discuție următoarele [1,51,52].
  - erori refractive reziduale și necesitatea unei corecții suplimentare pentru obținerea acuității vizuale maxime
  - apariția în unele cazuri a disfotopsiilor, complicații ce pot conduce la pierderea celei mai bune acuități vizuale corectate
  - apariția sau agravarea sindromului de ochi uscat
  - limitele chirurgiei refractive la vârsta presbiopiei în cazul pacienților tratați pentru miopie
  - modificarea acurateții calculului cristalinului artificial în cazul chirurgiei cataractei după intervenția keratorefractivă etc. [1,51,52].
    - se vor oferi răspunsuri la toate întrebările pacientului [1].
- **Consimțământul informat semnat de pacient** înainte de operație trebuie să documenteze acordul pacientului față de toate beneficiile și riscurile tehnicii de chirurgie refractivă ce urmează a fi efectuată [1].
- Medicul oftalmolog care efectuează intervenția chirurgicală laser are următoarele responsabilități [1,51,52].
  - să examineze pacientul preoperator;
  - să se asigure că înregistrările evaluării preoperatorii corespund simptomelor, semnelor și indicațiilor de tratament;
  - să reevalueze rezultatele testelor și a diagnosticului preoperator la momentul examinării pacientului;
  - să elaboreze planul chirurgical;
  - să elaboreze planul postoperator și să informeze pacientul asupra: indicațiilor de tratament, a modalitățile de îngrijire și a restricțiilor;
  - să obțină consimțământul informat de la pacient;
  - să ofere pacientului ocazia discuției legate de costurile asociate operației.

CONTRAINDICAȚIILE CHIRURGIEI REFRACTIVE

- Există numeroase situații, atât sistemice cât și oculare, în care tehnicile de chirurgie keratorefractivă laser sunt contraindicate.

Contraindicațiile sistemice sunt:
- Bolile vasculare de reprezintă contraindicații relative [1,34,41,42,53]. Pacienții cu forme de boală moderat – severe ori cei care necesită

Scanned with OKEN Scanner

medicaţie multiplă pentru controlul afecţiunii vor fi excluşi de la chirurgia refractivă [1,53];
- Diabetul zaharat este o contraindicaţie relativă, putând fi trataţi pacienţi diabetici fără variaţii glicemice şi în absenţa oricărei complicaţii provocate de diabet, fie oculară sau extraoculară [1,34,41,42,53,54];
- Medicaţie sistemică ce influenţează filmul lacrimal, transparenţa corneei ori capacitatea de vindecare corneană [1,34,42];
- Femei însărcinate, aflate în perioada de alăptare ori care doresc să rămână însărcinate în perioada imediat următoare intervenţiei LASER (6–12 luni) [1,41,42,53–55]. Se recomandă astfel temporizarea intervenţiilor keratorefractive minim tre,i luni de la întreruperea alăptării şi documentarea stabilităţii refractive [1,44,53];
- Infecţia cu virusul imunodeficienţei umane (HIV) [1,53,56];
- Teren psihogen labil ori anticiparea lipsei de complianţă în timpul intervenţiei sau în perioada de îngrijire postoperatorie reprezintă contraindicaţii absolute [1,26].

Contraindicaţiile oculare sunt:
- Instabilitate refractivă – refracţia se consideră a fi stabilă când, pe parcursul a cel puţin un an, în refracţie se produc modificări mai mici sau egale cu 0,5 D [1,26,41,43];
- Patologie corneană ectatică suspicionată sau confirmată: keratoconus ori degenerescenţă marginală pellucida [1,41,42];
- Patologie corneană distrofică (de exemplu distrofia membranei bazale a epiteliului) ori cicatricială (keratotomii radiale în antecedente, leucom cornean etc.) [1,26];
- Cornee a cărei grosime centrală determinată preoperator este mai mică de 500 µm [1,26], ori în cazurile în care, prin calcul preoperator, se determină o grosime a patului stromal restant sub 250–300 µm [1,26,34,41,42,46,57];
- Cornee a căror raze de curbură determinate preoperator au valori extreme, fiind fie prea aplatizate (putere sub 40 D), fie prea ascuţite (putere peste 48 D) [1,26];
- Prezenţa unei patologii autoimune ce interesează suprafaţa oculară, precum sindromul Steven-Johnson sau pemfigoidul ocular [1,41];
- Forme moderat-severe ale sindromului de ochi uscat sau keratită neurotrofică [1,41,54];
- Orice formă de alergie oculară, precum: conjunctivita cronică alergică, kerato-conjunctivita limbică vernală, keratoconjunctivita atopică [1,53];
- Orice formă de glaucom, chiar şi nou-diagnosticat la momentul evaluării preoperatorii [1,34,37,41,42,54];
- Infecţii sau inflamaţii oculare active [1,34,41,54];
- Istoricul ocular de herpes simplex sau herpes zoster este o contraindicaţie relativă [1,41,42,47]. Pentru a preveni riscul de reactivare a infecţiei virale herpetice este necesară profilaxie adecvată pre şi postoperator [1,58–61];

Scanned with OKEN Scanner

- Rupturi retiniene sau degenerescențe retiniene la risc, cazuri în care procedura chirurgicală refractivă va fi amânată până după tratamentul de baraj al leziunilor retiniene la risc [1,34,37];
- Ochiul unic funcțional este o contraindicație relativă pentru chirurgia refractivă LASER, dar majoritatea autorilor se feresc în a trata pacienți monoftalmi [1,26,37,47,54];
- Nistagmus [1,27];
- Pacienții ale căror activități predispun la traumatisme oculare (de exemplu: sporturi de contact) nu au indicație pentru tehnicile ce presupun crearea voletului cornean [1,41].

Aprecierea riscului de ectazie corneană postoperatorie

- Ectazia post-LASIK este cea mai de temut complicație din chirurgia refractive [1,44]. Gravitatea procesului ectatic constă atât în pierderea celei mai bune acuități vizuale corectate cât și în caracterul progresiv, corneea adoptând o formă din ce în ce mai ascuțită, devenind mai subțire [1,62]. Ectazia apare în urma reducerii integrității biomecanice a corneei sub pragul critic necesar pentru menținerea formei și curburii dorite [1,63].
- Topografia și/sau tomografia corneană computerizată sunt indispensabile în vederea aprecierii riscului de ectazie corneană postoperatorie [1,50]. Sunt considerate aspecte topografice normale corneea fără astigmatism (figura 4) și astigmatismul regulat, ce apare sub forma unui papion orientat de-a lungul unui meridian [1,64]. Cazul astigmatismului regulat conform regulei (figura 5) este cel mai frecvent, meridianul cel mai refringent fiind poziționat vertical. Mai puțin întâlnite sunt astigmatismele invers regulei (figura 6) și oblic (figura 7) [1,64].

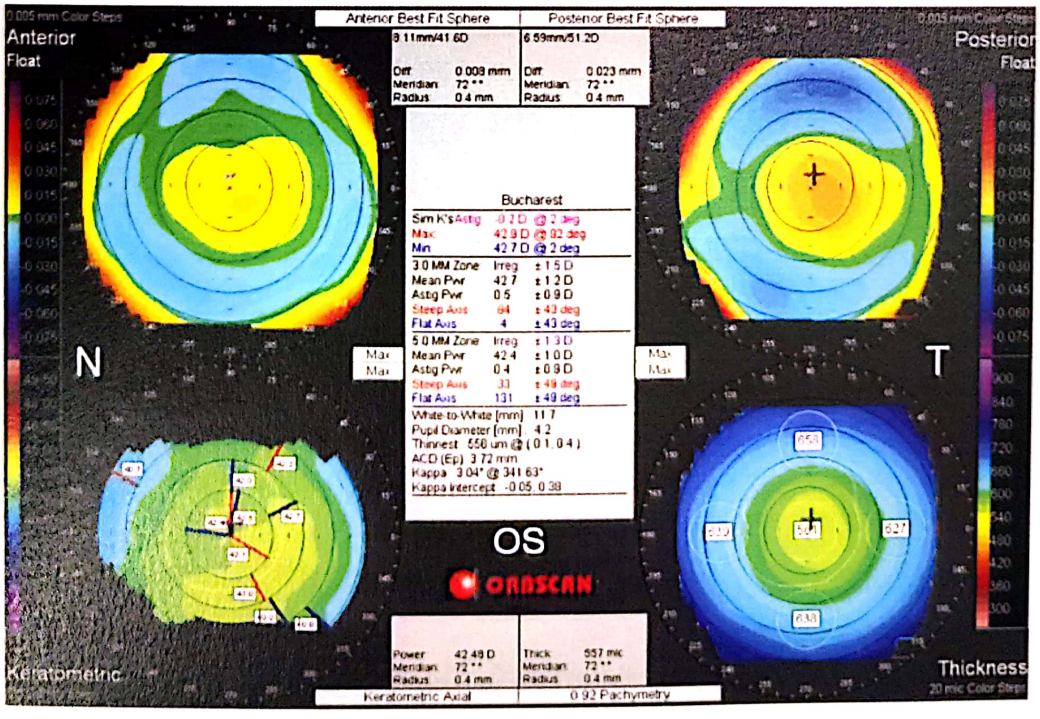


Figura 4. Topografie corneană – cornee fără astigmatism (valoarea cilindrului simulat = 0,2 D).

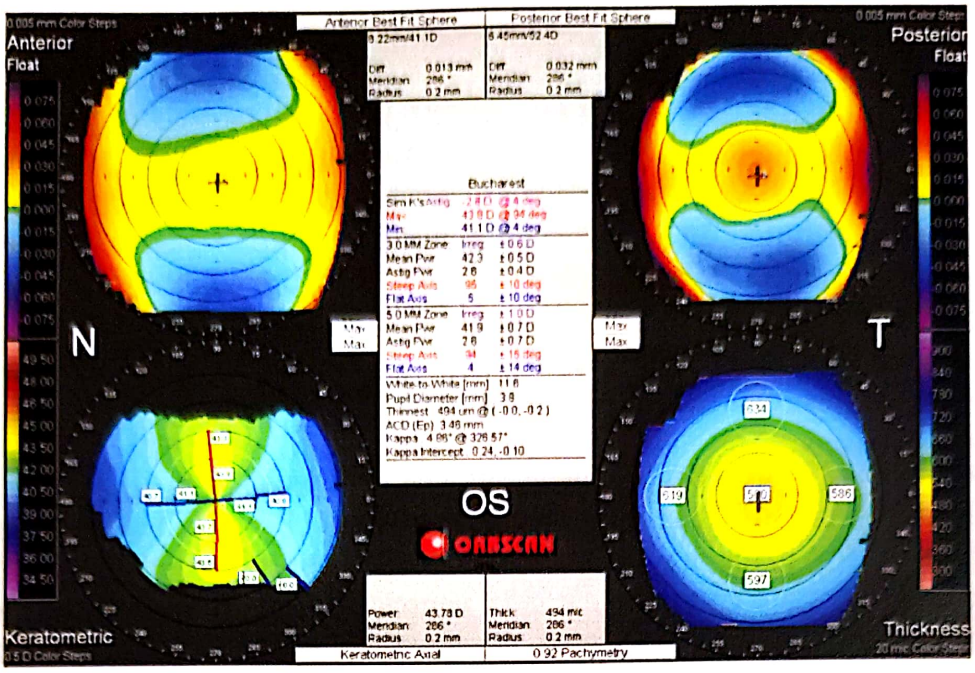


Figura 5. Topografie corneană – astigmatism conform regulei
(valoarea cilindrului simulat = 2,8 D, axul meridianului cel mai refringent = 94°).

- Astigmatismul neregulat nu indică întotdeauna prezența unei patologii corneene (figura 8) dar impune urmărire topografică în timp și precauție în ceea ce privește tratamentul keratorefractiv întrucât poate predispune la ectazie corneană postoperatorie [1,64].
- Chirurgia refractivă corneană laser este contraindicată în situația în care topografia corneană suspicionează o formă de keratoconus infraclinic (figura 9) sau confirmă o formă de ectazie corneană deja prezentă, precum keratoconusul (figura 10) sau degenerescența marginală pellucida (figura 11) [1,64].

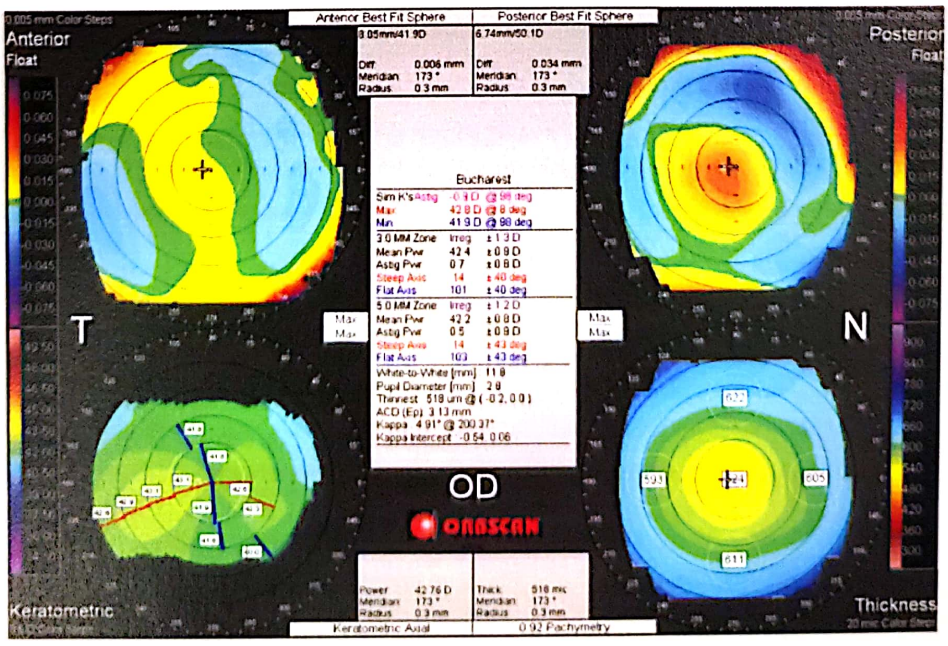


Figura 6. Topografie corneană – astigmatism invers regulei
(valoarea cilindrului simulat = 0,9 D, axul meridianului cel mai refringent = 8°).

Scanned with OKEN Scanner

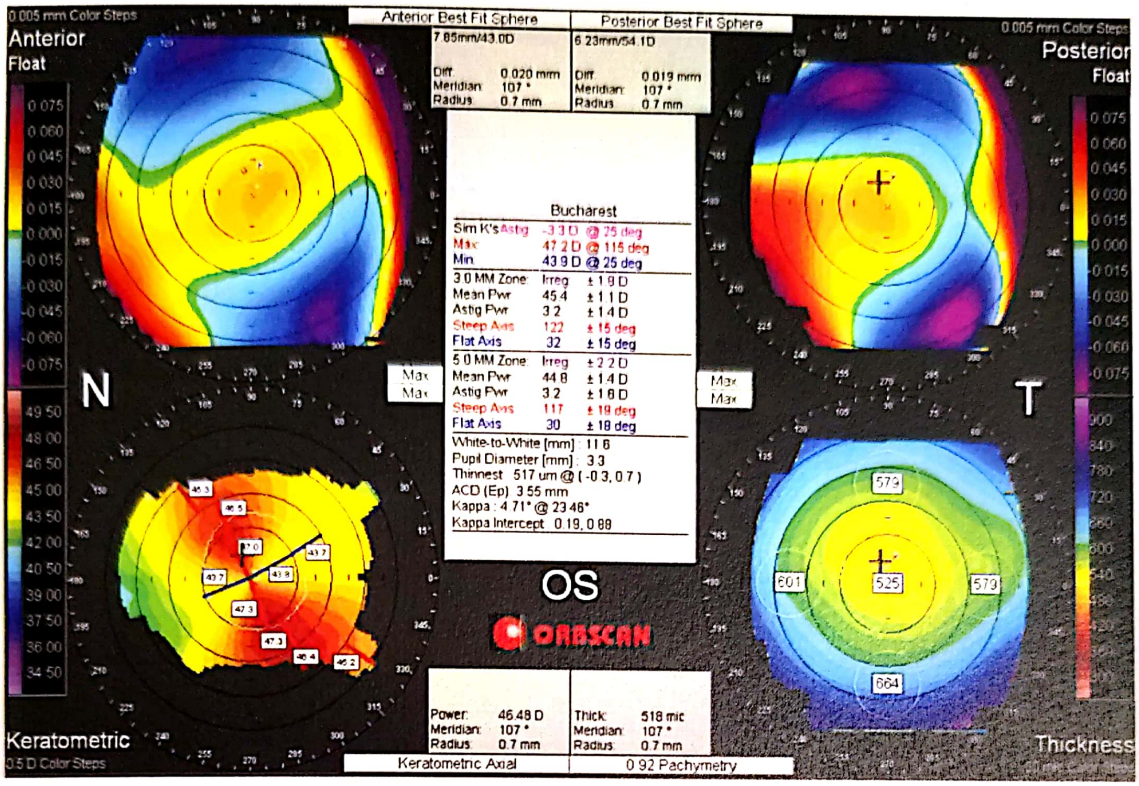


Figura 7. Topografie corneană – astigmatism oblic
(valoarea cilindrului simulat = 3,3 D, axul meridianului cel mai refringent = 115°).

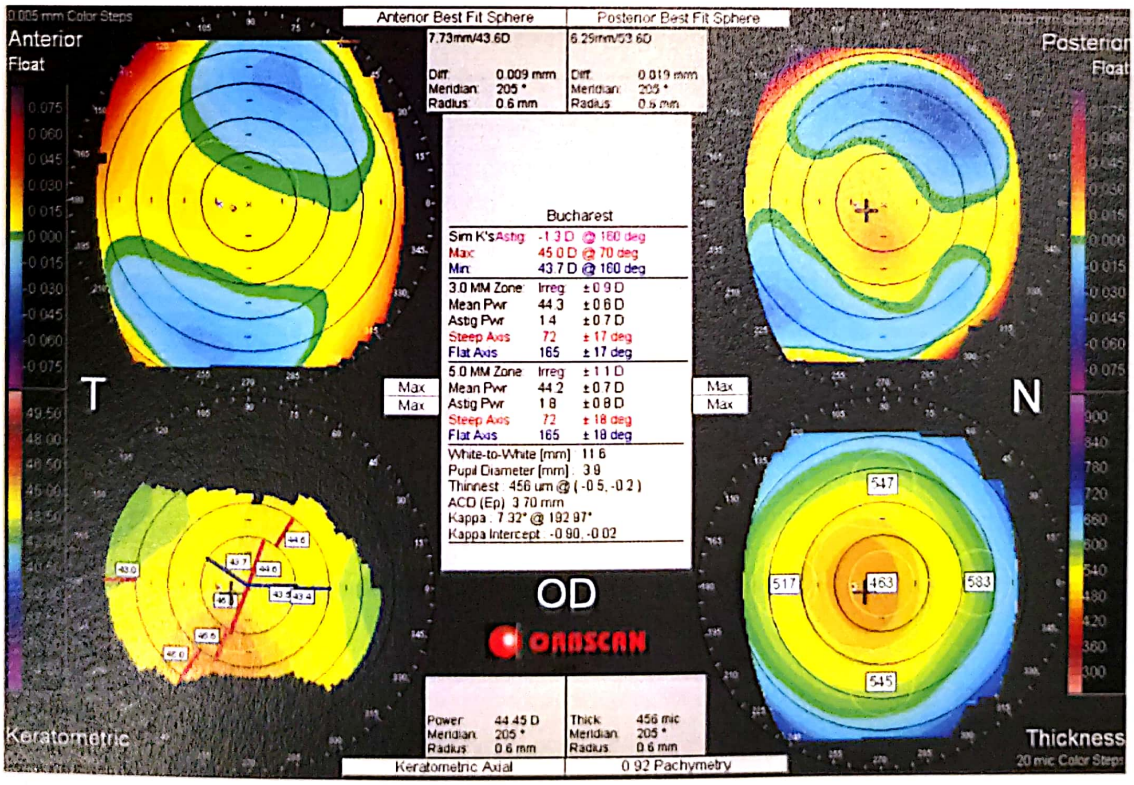


Figura 8. Topografie corneană – astigmatism neregulat, cu asimetrie între jumătatea superioară și inferioară a corneei însă fără devierea axelor meridianelor cele mai refringente.
La acest caz nu s-au întrunit criteriile clinice și topografice de încadrare într-o patologie ectatică dar se impune urmărire topografică subsecventă.

Scanned with OKEN Scanner

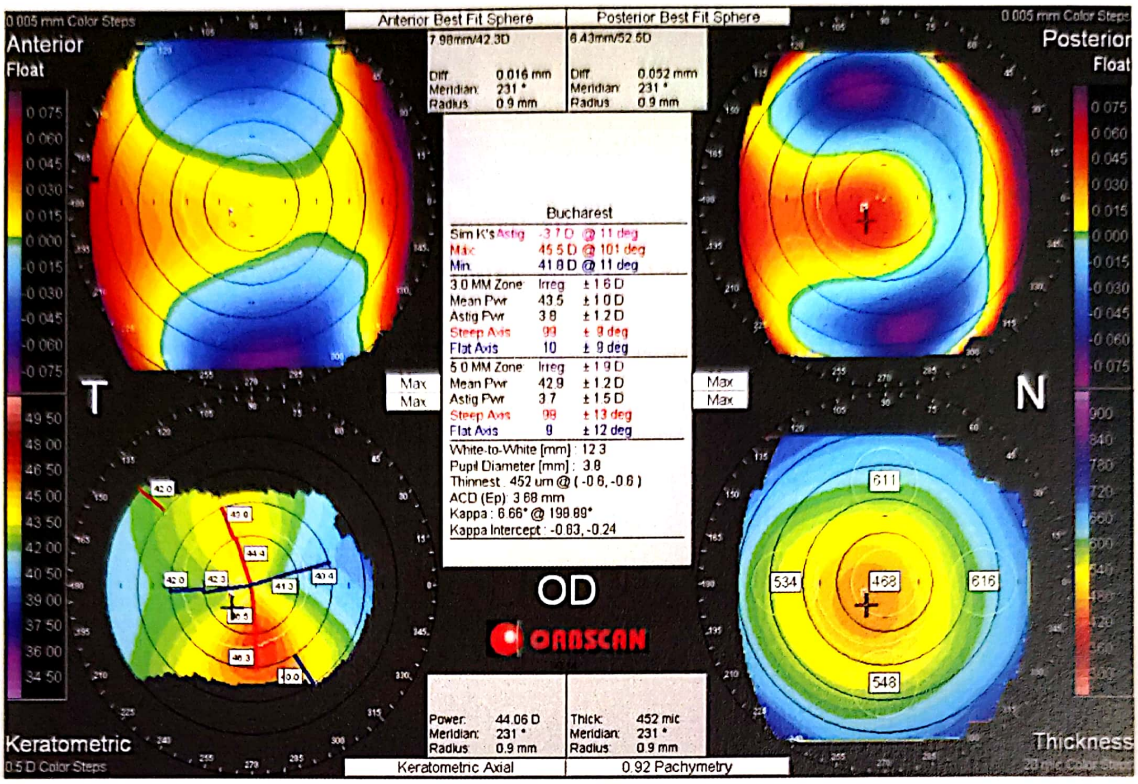


Figura 9. Topografie corneană – astigmatism neregulat, cu asimetrie între jumătatea superioară și inferioară a corneei, cu devierea axelor meridianelor cele mai refringente și valoare redusă a pahimetriei corneene. Pentru acest caz topografia corneană a confirmat forma infraclinică de keratoconus, clinic neexistând modificări patologice.

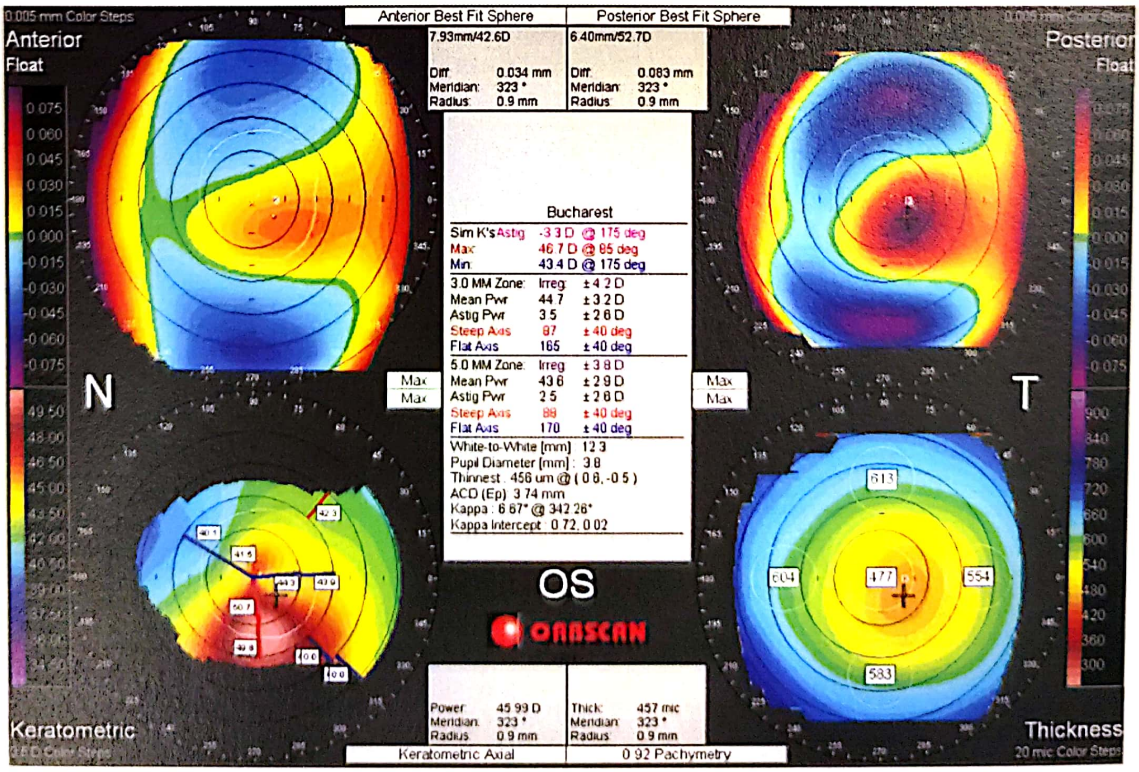


Figura 10. Topografie corneană – astigmatism neregulat, confirmarea keratoconusului stadiul III, depistat clinic.

Scanned with OKEN Scanner

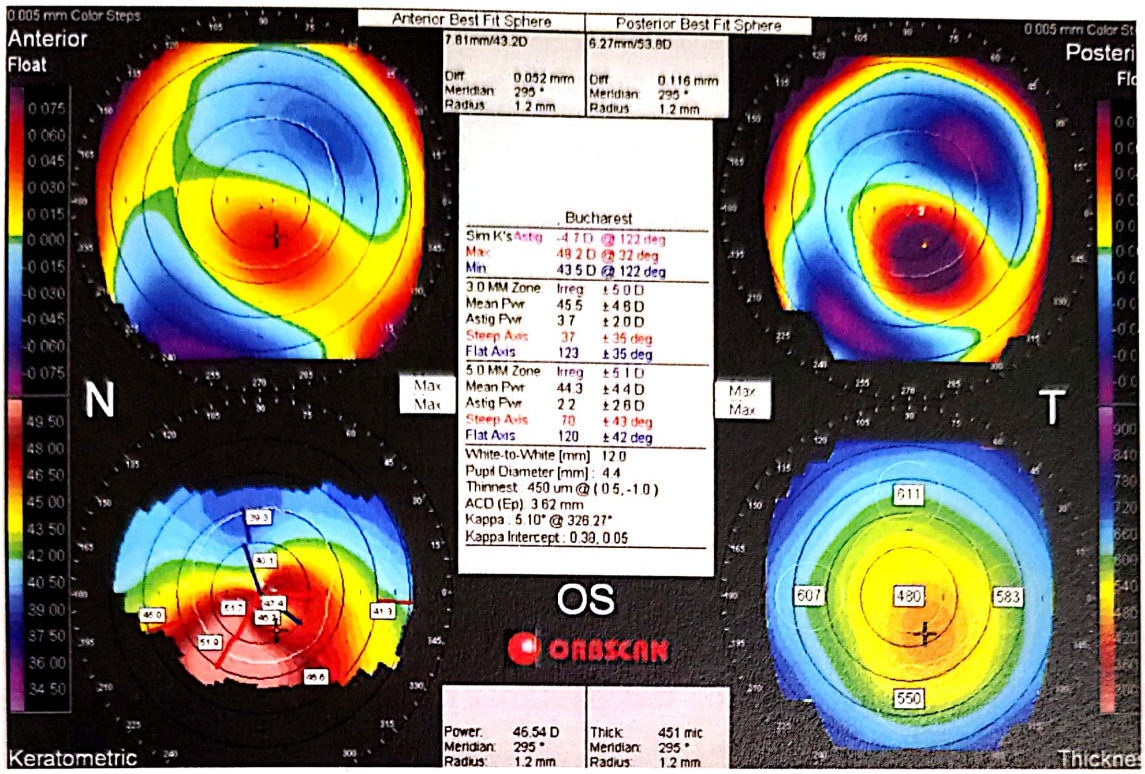


Figura 11. Topografie corneană – astigmatism neregulat, degenerescență marginală pellucida.

- În interpretarea topografiei corneene vor fi analizate hărțile de putere, pahimetrică și cele de elevație anterioară și posterioară [1,64]. Următoarele aspecte sunt considerate anormale:
  - Diferența de elevație pe harta de elevație posterioară între zona cea mai ascuțită și cea mai aplatizată peste valoarea de 50 µm [1,64,65];
  - Diferența între punctul de grosime minimă și pahimetria determinată central peste valoarea de 25 µm [1,64,65];
  - Asimetria în keratometria determinată în zonele de 3 mm și 5 mm peste valoarea de 2D [1,64];
  - Diferență între magnitudinea astigmatismului între ochii congeneri peste valoarea de 1D [1,64] ;
  - Identificarea unei zone sub formă de insulă pe harta de elevație anterioară sau posterioară [1,64].
- Există și alți factori cu risc potențial pentru dezvoltarea ectaziei [1,8,60]. Aceștia includ:
  - Grosimea corneană redusă, valoarea pahimetriei considerată sigură fiind minim 510 µm [1,44,66,67];
  - Patul stromal restant de grosime redusă, valorile sub 300 µm sunt considerate la risc [1,42,64-66];
  - Vârsta tânără, majoritatea autorilor contraindică intervențiile keratorefractive la pacienți sub 21 ani [1,26,37,43,44,66,67] dar există autori ce recomandă vârsta minimă de 23 ani [1,69];
  - Miopia peste 8D este considerată la risc [1,44,66,67].

Scanned with OKEN Scanner

TEHNICI DE CHIRURGIE REFRACTIVĂ LASER

TEHNICI DE ABLAȚIE LA SUPRAFAȚA CORNEEI

- Tehnicile LASER de ablație la suprafața corneei au avantajul unei mai bune conservări a țesutului stromal posterior rezidual și lipsa riscurilor complicațiilor legate de voletul cornean [1,70,71].
- Dezavantajele ablației de suprafață includ însă: discomfortul pronunțat al pacientului, recuperarea lentă a vederii datorate perioadei de reepitelizare și potențiala dezvoltare a unei tulburări de transparență („haze") subepitelială [1,70,71].

***PRK** (Keratectomia Fotorefractivă, „Photorefractive Keratectomy")*

- **Keratectomia Fotorefractivă** este o tehnică ce este utilizată și în prezent și constă în **ablație cu LASER excimer la nivelul stratului Bowman și a stromei anterioare, după îndepărtarea prealabilă a epiteliului cornean** [1,43,72].
- Timpii operatori includ:
  - pregătirea ochiului/ochilor de operat cu soluții antiseptice și colir antibiotic și antiinflamator nonsteroidian;
  - calibrarea aparatului LASER excimer și introducerea datelor operatorii ale pacientului;
  - îndepărtarea epiteliului;
  - tratamentul LASER excimer;
  - aplicarea unei lentile de contact terapeutice;
  - tratament postoperator cu colir antibiotic, antiinflamator steroidian, reepitelizant cornean, lubrifiant de suprafață oculară.
- **Tehnica clasică de PRK** (figurile 12–14) presupune îndepărtarea manuală a epiteliului după îmbibarea acestuia timp de 30 de secunde cu soluție de etanol 20% (**EtOH–PRK**) [1,43,72,73].
- **Tehnica modernă** de îndepărtare a epiteliului este laser-mediată de către LASERUL excimer (**TransPRK**) și este considerată superioară celei clasice, vindecarea fiind mai rapidă datorită zonei mai mici de ablație epitelială și a marginilor mai ascuțite și netede [1,74].
- **Tehnica personalizată**, ghidată aberometric, poartă numele **C–TEN** („Customized Transepithelial No-touch") [1,75].
- Procedura PRK, în toate variantele ei, este considerată sigură [1,72,73].
  - Postoperator pot să apară fenomene optice precum halouri și glare în lumina nocturnă, acestea fiind diminuate prin alegerea unei zone optice cu diametru mai mare decât diametrul pupilar în lumină scotopică [1,72,73].
  - De asemenea sunt descrise complicații precum dezvoltarea unor cicatrici subepiteliale, întârzierea reepitelizării ori apariția unei regresii miopice în cazul reepitelizării excesive în zona central [1,72,73].

Scanned with OKEN Scanner

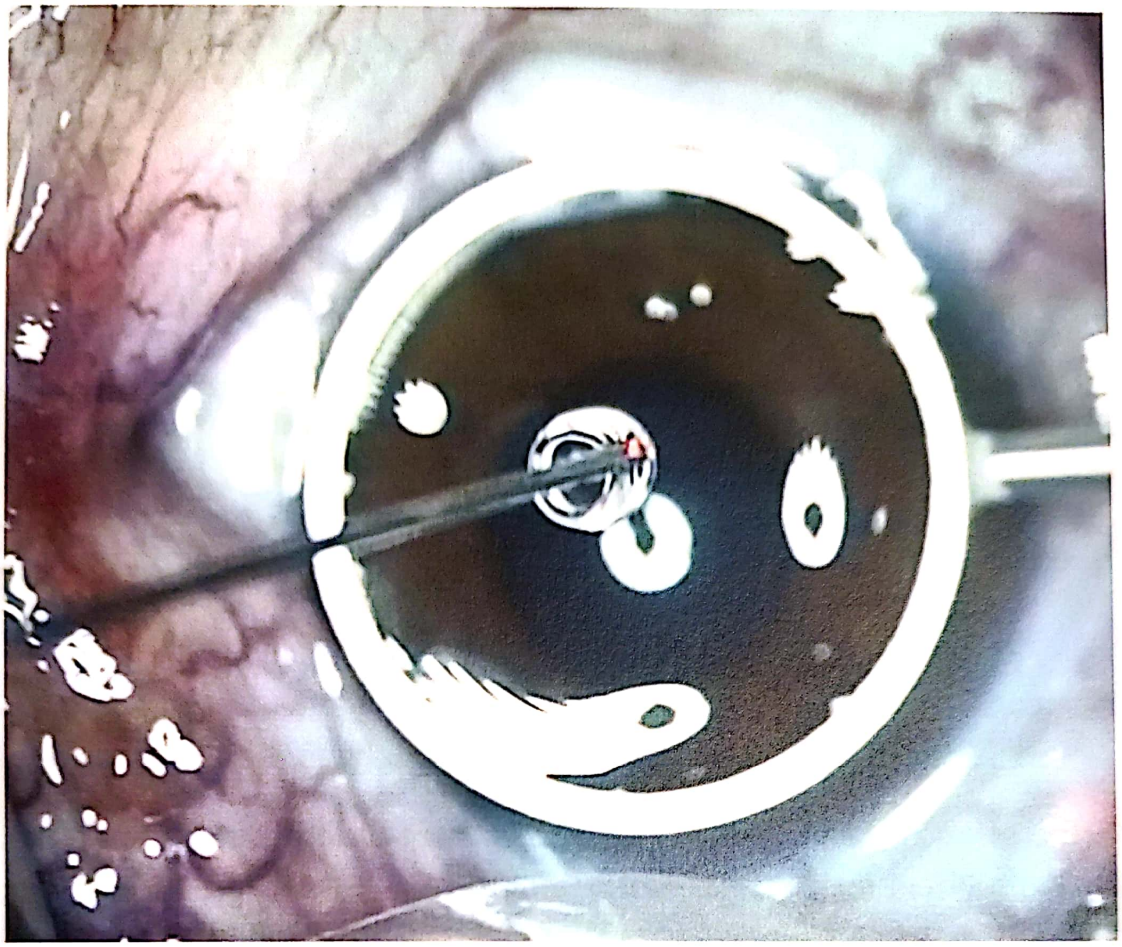


Figura 12. Aplicarea soluției alcoolice în vederea îndepărtării manuale a epiteliului în tehnica clasică de PRK.

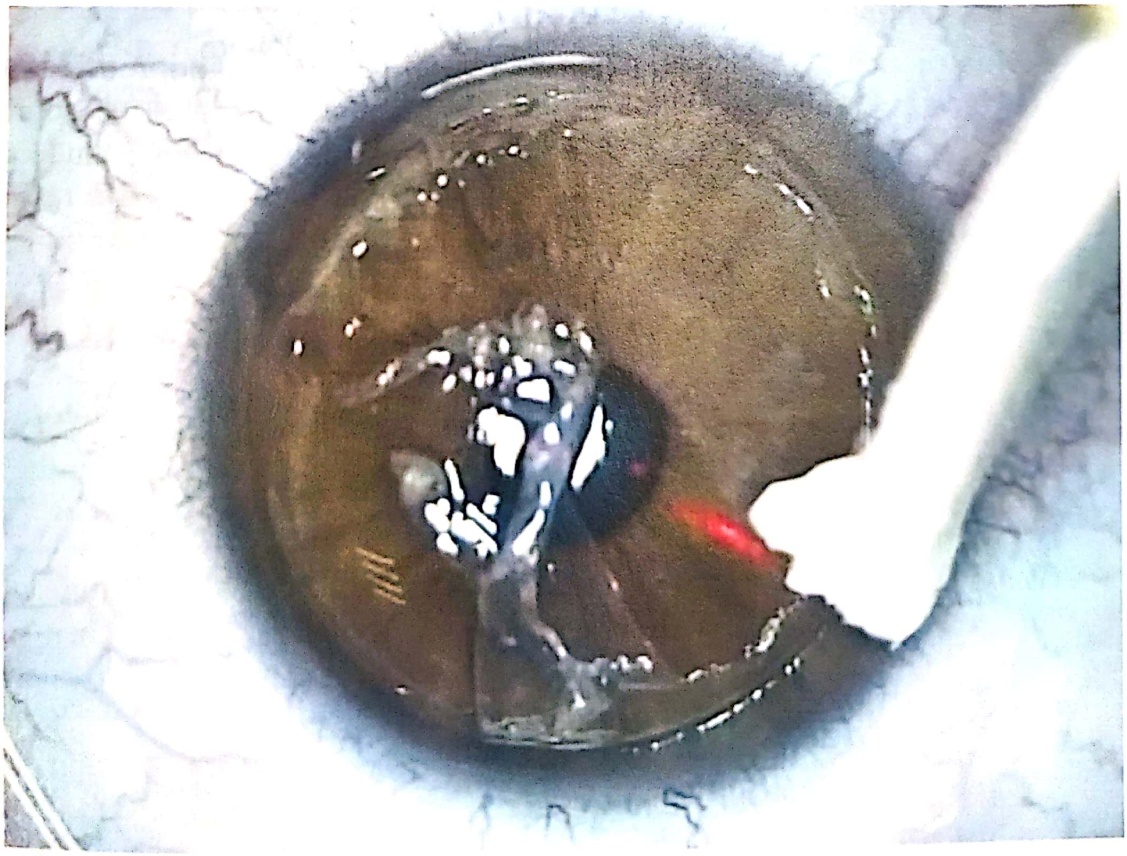


Figura 13. Îndeăpărtarea manuală a epiteliului în tehnica clasică de PRK.

Scanned with OKEN Scanner

Figura 14. Tratamentul LASER refractiv prin acțiunea laserului excimer în tehnica clasică de PRK.

- Atunci când sunt corectate vicii de refracție mari, se poate utiliza mitomicină C ce s-a demonstrat că îmbunătățește vindecarea post-procedurală prin prevenirea formării ceței [1,76].
  - Mitomicina C este un agent citotoxic cu efecte antiproliferative ce reduce repopularea miofibroblastelor după ablația laser de suprafață, motiv pentru care este utilizată în vederea unei mai bune vindecări în intervențiile de tip PRK [1,77,78]. În tehnicile de chirurgie refractivă LASER de suprafață, mitomicina C este utilizată în afara indicațiilor producătorului (*off-label*) [1,79,80].

***LASEK** („Laser subepithelial Keratomileusis")*

- O altă tehnică ce implică reducerea grosimii la nivelul corneei anterioare o reprezintă **LASEK** ce presupune o tehnică similară cu PRK realizată cu alcool dar în care, la sfârșitul intervenției se realizează repoziționarea epiteliului [1,72,81,82].
- Avantajele LASEK față de PRK sunt reabilitarea vizuală mai rapidă, reducerea durerii, diminuarea senzației de încețoșare apărută postoperator și posibilitatea tratării unor vicii mai mari de refracție în cazuri în care corneea este mai subțire [1,72,81,82].
  - **tehnica LASEK s-a dovedit a fi sigură, eficientă și predictibilă în tratamentul viciilor de refracție miopice** [1,83] **dar comparativ cu tehnica PRK a demonstrat rezultate comparabile în ceea ce privește eficacitatea, siguranța, acuratețea și efectele secundare** [1,83,84].

Scanned with OKEN Scanner

Epi-LASIK *(„Epikeratome Laser-assisted Keratomileusis")*

- **Epi-LASIK**, este o procedură în care, cu ajutorul unui epikeratom, se crează un volet la nivelul epiteliului cornean, volet care este păstrat și repoziționat după ablația cu laserul excimer [1,72].
- Tehnica epi-LASIK este asemănătoare cu tehnica LASEK dar spre deosebire de aceasta din urmă în care soluția diluată de alcool poate să omoare celulele epiteliale, microkeratomul pastrează intacte aceste celule, recuperarea postoperatorie fiind calitativ mai bună și mai rapidă [1,72].
- Tehnica Epi-LASIK mai este numită și SBK (keratomileusis sub membrana Bowman, „Sub-Bowman's Keratomileusis") întrucât epikeratomul disecă stratul epiteliului de membrana Bowman [1,72,85,86].

TEHNICI DE ABLAȚIE ÎN PROFUNZIMEA CORNEEI UTILIZÂND LASERUL EXCIMER

LASIK *(Keratomileusis Laser in Situ, „*Laser-Assisted *In Situ* Keratomileusis")*

- Keratomileusis (denumire provenită din limba greacă, „kéras" = cornee și „smileusis" = a sculpta) este o tehnică ce constă în mod clasic în îndepărtarea unei lentile din corneea anterioară utilizând un microkeratom, prelucrarea lentilei prin înghețare și remodelare la nivelul feței posterioare astfel încât să se modifice raza de curbură, pentru ca la finalul intervenției lentila să fie reașezată și suturată în poziție [1,72,87].
  - pe parcursul timpului, tehnica a fost în permanență îmbunătățită, inițial prin remodelarea lentilei cu un al doilea microkeratom, fără a mai fi necesară înghețarea [1,72].
  - ulterior, cel de-al doilea microkeratom a fost utilizat asupra patului stromal restant în locul lentilei, tehnica fiind numită keratomileusis „in situ" [1,72].
  - predictibilitatea procedurii a crescut în momentul apariției microkeratoamelor mecanice automate, când tehnica a purtat numele de keratoplastie lamelară automată (ALK, „Automated Lamellar Keratoplasty") [1,72,81].
  - evoluția procedurii prin tratarea stromei corneene restante în locul feței posterioare a lentilei a permis păstrarea unei balamale (plasată inițial nazal și ulterior superior) și înlocuirea lentilei cu un volet, eliminând necesitatea suturilor [1,72,81].
- Apariția LASERULUI excimer a revoluționat chirurgia refractivă prin utilizarea acestuia în procedura **LASIK**, procedură ce este practicat și în present [1].
  - procedura LASIK presupune utilizarea microkeratomului în vederea realizării unui volet („flap") format din epiteliu, strat Bowman și stromă anterioară [1,43,72,73,82].

Scanned with OKEN Scanner

- voletul este ulterior ridicat, la nivelul interfeței se realizează ablația stromală prin utilizarea laserului excimer, pentru ca apoi voletul să fie repozitionat, acesta urmând să adere spontan la stroma corneană restantă [1,43,72,73,82].

- Tratamentul LASER excimer ce realizează ablația refractivă propriu-zisă se bazează pe efectul fotoablativ al laserului și constă în vaporizarea țesutului cornean și înlăturarea vaporilor de la nivelul suprafeței tratate [1,32].
  - apare astfel o lipsă de substanță la nivelul stromei, corneea fiind remodelată [1,32].
  - concomitent cu ablația LASER, la nivelul suprafeței corneene este generat un flux de aer continuu, necesar diminuării efectului fototermic și înlăturării detritusurilor rezultate din ablație [1,88].
- Timpii operatori includ:
  - pregătirea ochiului/ochilor de operat cu soluții antiseptice și colir antibiotic și antiinflamator nonsteroidian;
  - calibrarea aparatului LASER excimer și introducerea datelor operatorii ale pacientului;
  - crearea voletului cornean;
  - tratamentul LASER excimer;
  - aplicarea unei lentile de contact terapeutice;
  - tratament postoperator cu colir antibiotic, antiinflamator steroidian, lubrifiant de suprafață oculară.

Femto–LASIK (Keratomileusis Laser in Situ asistat de Femtolaser)

- Tehnica **Femto–LASIK** (figura 15) este o variantă a tehnicii LASIK în care voletul cornean este realizat de femtolaser ce acționează prin intermediul fasciculului LASER ca un keratom, creând o suprafață de clivaj în stroma corneană [1,27].
  - femtolaserul crează de asemenea și o incizie penetrantă la marginea voletului [1,25,27].
  - la nivelul acestei incizii, chirurgul realizează abordul interfeței unde disecă planul de clivaj, delimitând voletul cornean [1,25,27].
  - zona unde voletul rămâne atașat de stroma corneană poartă numele de balama, are o lățime de aproximativ 50o și este situată în general superior [1,25].
  - voletul cornean este apoi ridicat (figura 16) iar pe suprafața stromală astfel expusă se aplică tratamentul laser excimer ce realizează ablația refractivă propriu-zisă (figura 17) iar la sfârșitul intervenției, voletul este reaplicat [1,32].
  - în plus față de tehnica LASIK clasic, în tehnica Femto-LASIK este necesară și calibrarea femtolaserului și introducerea în computerul integrat a datelor pacientului cu privire la crearea voletului [1].

Scanned with OKEN Scanner

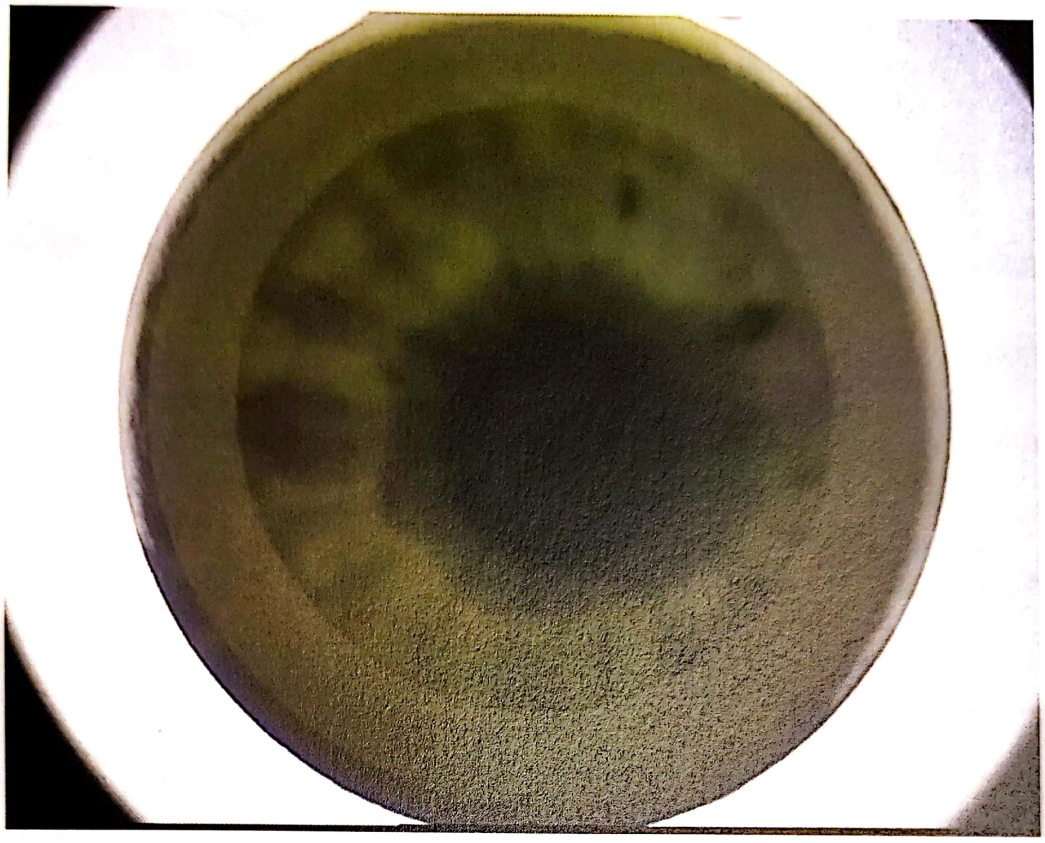


Figura 15. Etapa de creare a voletului cornean prin acțiunea femtolaserului în tehnica Femto-LASIK.

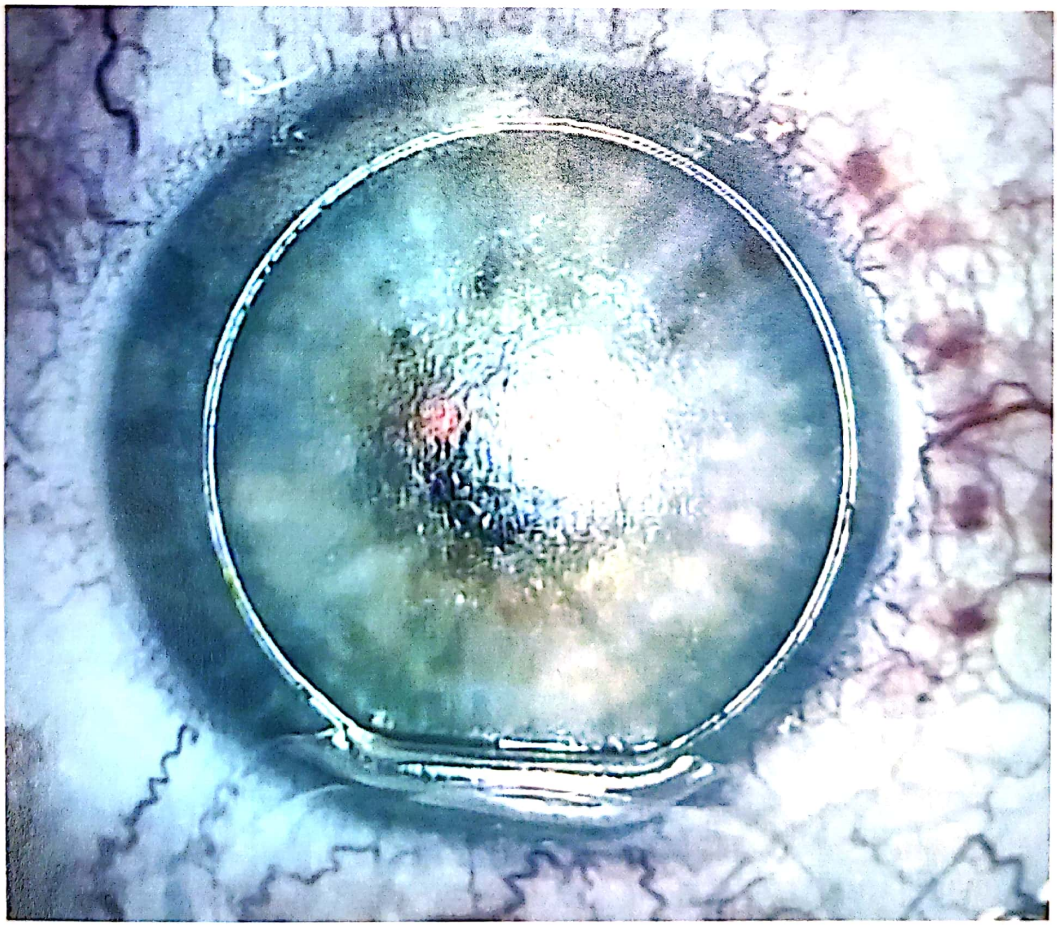


Figura 16. Etapa de ridicare a voletului cornean în tehnica Femto-LASIK.

Scanned with OKEN Scanner

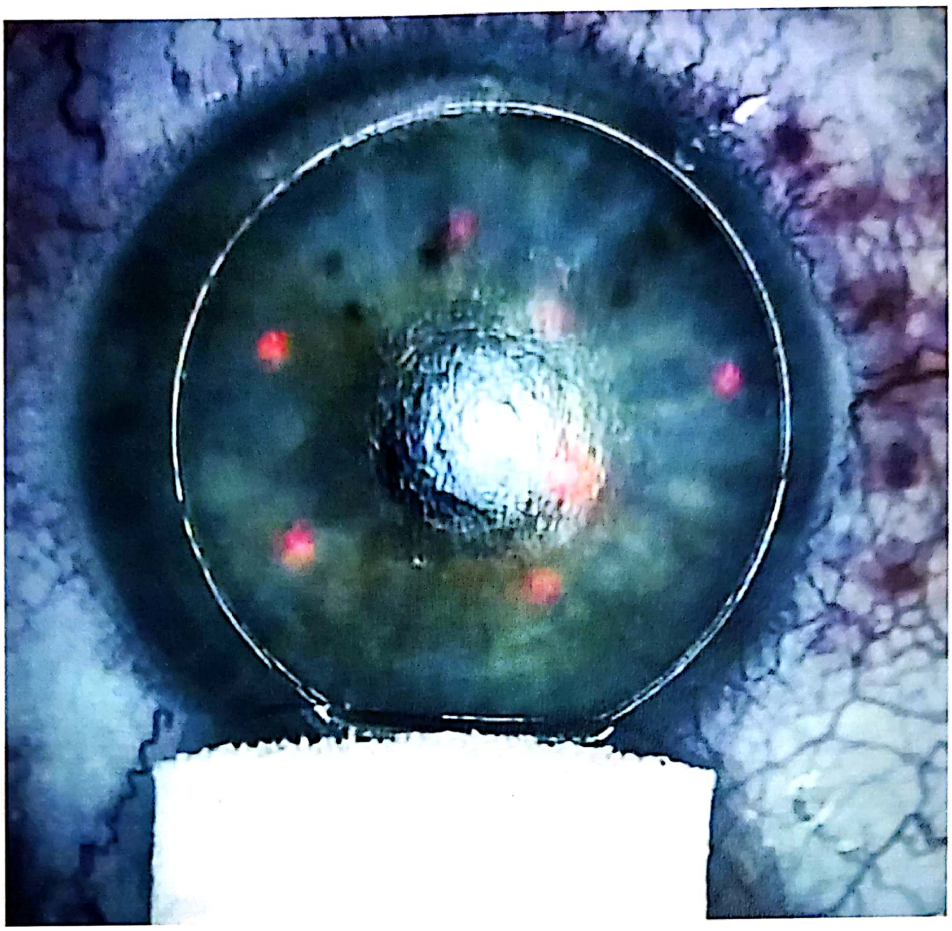


Figura 17. Tratamentul laser refractiv prin acțiunea LASERULUI excimer în tehnica Femto-LASIK.

- Față de tehnica LASIK clasică, în care este utilizat microkeratomul, tehnica Femto–LASIK are numeroase avantaje, precum:
  - predictibilitate și siguranță mai mare la realizarea voletului prin reducerea numărului și tipului complicațiilor legate de aceasta [1,22,27,29,89];
  - posibilitatea de control al dimensiunilor voletului: diametru, grosime, unghi de tăiere, localizare și poziționare a balamalei [1,22,27,29,89];
  - posibilitatea realizării unor volete de grosime redusă (80–110 μm) [1,26,90];
  - în cazul pierderii vidului la momentul creării voletului, în cazul femtolaserului, riscul creării unui volet incomplet este puțin probabil [1,91];
  - în cazul pierderii vidului în afara axei vizuale, tratamentul LASER poate fi continuat în aceeași ședință operatorie, imediat după reaplicarea inelului de sucțiune [1,29,89,91];
  - în cazul pierderii vidului în axul vizual, tratamentul se poate relua într-un alt timp operator, de preferat într-un alt plan, la o profunzime mai mare [1,91];
  - extinderea limitelor procedurii pentru cornee cu grosime redusă și pentru dioptrii mari prin reducerea grosimii voletului [1,22,30,89];

Scanned with OKEN Scanner

- extinderea limitelor procedurii în ceea ce privește razele de curbură ale corneei, în cazul corneelor foarte ascuțite sau foarte aplatizate tratamentul cu microkeratoam fiind dificil de realizat ori cu riscuri intraoperatorii ridicate [1,47];
- aderență mai bună a voletului la patul stromal restant [1,26,29];
- confort superior al pacientului datorită nivelului mai scăzut de sucțiune ce este necesar a fi generat [1,89];
- rată mai mică de scădere postoperatorie a sensibilității de contrast [1,29];
- rată mai mică de proliferare epitelială sub volet (în engleză, „epithelial ingrowth") [1,27,29];
- incidență mai scăzută a sindromului de ochi uscat [1,29];
- inelul de sucțiune este de unică folosință, crescând siguranța procedurii din punct de vedere al sterilității și eliminând timpul necesar sterilizării microkeratomului [1,89].

• Tehnica Femto–LASIK poate fi utilizată pentru tratamentul tuturor viciilor de refracție [1].
- limitele dioptrice pentru care se poate face ablația sunt variabile și depind atât de tipul și performanța platformei femtolaser – LASER excimer, cât și de caracteristicile corneei ce urmează să fie tratată: grosime, raze de curbură, diametru [1,32,34,82].
- comparativ cu restul tehnicilor de chirurgie refractivă LASER, limitele pentru ablația cu laser excimer în cazul tehnicii Femto–LASIK sunt cele mai extinse și se consideră a fi: miopie până la 10 D, hipermetropie până la 4 D și astigmatism până la 5 D [1,32,34,82].

TEHNICI DE ABLAȚIE ÎN PROFUNZIMEA CORNEEI FĂRĂ A UTILIZA LASERUL EXCIMER

ReLEx *(„Refractive Lenticule Extraction")*

• Femtolaserul poate fi folosit și în vederea tratamentului refractiv propriu-zis, prin decuparea unei lentile tisulare în interiorul stromei corneene, tehnică denumită **ReLEx** [1,92,93], eliminând necesitatea atât a microkeratomului cât și a LASERULUI excimer [1,26].
- Femtolaserul delimitează intrastromal două planuri de clivaj ce vor fi separate de stroma adiacentă cu o spatulă și care vor delimita lentila tisulară ce ulterior va fi extrasă [1,92,93].
- Extragerea lentilei tisulare intrastromale astfel create se realizează printr-un acces creat de femtolaser, prin:
  • volet cornean extins pe aproximativ 300°, tehnica denumită **FLEx** („*Femtosecond Lenticule Extraction*") [1,34,93].
  • incizie penetrantă de dimensiuni reduse (de 40°–50°), în tehnica denumită **SMILE** („SMall Incision Lenticule Extraction") [1,34,93].

Scanned with OKEN Scanner

  - astfel, procedura ReLEx SMILE nu necesită crearea voletului cornean și elimină toate complicațiile potențiale ale acestuia, dar creează o serie de necunoscute în ceea ce privește impredictibilitatea decupării complete a lentilei tisulare intracorneene și de uniformitatea refractivă a corneei restante [1,92,93].

- Timpii operatori includ:
  - pregătirea ochiului/ochilor de operat cu soluții antiseptice și colir antibiotic și antiinflamator nonsteroidian;
  - calibrarea aparatului femtolaser și introducerea datelor operatorii ale pacientului;
  - tratamentul femtolaser;
  - disecția și înlăturarea lenticulului întrastromal;
  - tratament postoperator cu colir antibiotic, antiinflamator steroidian, lubrifiant de suprafață oculară.
- Față de tehnica ReLEx SMILE, tehnica ReLEx FLEx implică timpi operatori suplimentari, respectiv ridicarea voletului cornean și reaplicarea acestuia, înainte și respectiv după disecția și înlăturarea lenticulului intrastromal [1].
  - întrucât procedura ReLEx este nou apărută, nu există studii cu privire la stabilitatea biomecanicii corneene pe timp îndelungat, aceasta urmând să fie studiată [1].
  - în 2016, tehnica ReLEx SMILE a fost aprobată pentru tratamentul miopiei simple de până la 8 D, iar în 2018 a fost aprobat și pentru tratamentul astigmatismului miopic, cu o corecție cilindrică maximă de 3 D [1,94].

COMPLICAȚIILE TEHNICILOR DE CHIRURGIE REFRACTIVĂ LASER

- În funcție de momentul apariției, complicațiile legate de tehnicile de chirurgie refractivă pot fi clasificate în intraoperatorii și postoperatorii. Complicațiile intraoperatorii pot fi subclasificate în funcție de tehnica de refractivă laser utilizată, respectiv de etapele acestora și tipul LASERILOR utilizați [1].

COMPLICAȚII INTRAOPERATORII ASOCIATE TEHNICILOR CE PRESUPUN CREAREA VOLETULUI CORNEAN

- **Complicații ale voletului**: volet de grosime neregulată, volet incomplet, volet cu aspect de butonieră, volet liber cu diametru programat ori cu diametru mai mic, complicații posibile în cazul tehnicii LASIK clasic [1,22,27,29,89,95];
- **Pierderea vidului** în timpul realizării voletului cornean, o complicație mai puțin gravă în cazul utilizării femtolaserului față de utilizarea

Scanned with OKEN Scanner

microkeratomului, în prima situație tratamentul laser putând fi continuat imediat prin reaplicarea inelului [1,22,95];

- **Disecția interfeței** este o manevră mai dificil de realizat în cazul voletului creat de femtolaser față de voletul creat cu microkeratom, din cauza aderențelor reziduale [1,91,95,96];
- **Lavajul neadecvat** la nivelul **interfeței** dintre volet și patul stromal restant, cu identificarea la acest nivel în perioada postoperatorie a diverse detritusuri precum: resturi hematice din hemoragii ale vaselor perilimbice, depozite lipidice din secreția glandelor meibomiene, secreții mucoase din filmul lacrimal, celule epiteliale, gene, fibre din material textil desprinse din comprese ori din bureții utilizați la uscarea patului stromal (figura 18) și aplicarea voletului, talc de la mănușile chirurgicale etc. [1,95,97].

Figura 18. Detritus (material moale) la nivelul interfeței volet – pat stromal restant.

- Crearea voletului cu femtolaserul poate fi urmată de apariția unor complicații specifice, ce nu se regăsesc în cazul intervențiilor clasice în care este utilizat microkeratomul [1,29,58,95].
  - Confluarea bulelor de cavitație conduce la formarea **stratului opac cu bule** (OBL, „opaque bubble layer"), în care bulele de gaz produse în momentul tratamentului femtolaser se acumulează intrastromal imediat supraiacent nivelului interfeței voletului [1,22,27,91,95,98,99]. În prezența OBL, disrupția țesutului cornean stromal poate fi deficitară, iar disecția interfeței voletului să se realizeze cu mai mare dificultate [1,91,95]. În

Scanned with OKEN Scanner

plus, vizibilitatea intraoculară redusă poate îngreuna sau face imposibilă acțiunea laserului excimer prin imposibilitatea înregistrării irisului și a pupilei de către sistemul computerizat al LASERULUI [1,29,91,95,100];
- Bulele de gaz pot migra spre suprafață, în stratul subepitelial, iar în cazul spargerii lor se poate produce **aspectul de butonieră al voletului** [1,29,95,98,100];
- **Bulele de cavitație** pot ajunge **în camera anterioară** prin migrare intrastromală sau traversarea rețelei trabeculare, complicație ce poate crea dificultăți la realizarea ablației prin imposibilitatea sistemului de urmărire de a realiza înregistrarea ocular [1,22,27,91,95,96,98,101,102].

COMPLICAȚII INTRAOPERATORII ASOCIATE ABLAȚIEI LASER EXCIMER

- **Ablație neuniformă** datorată unei calibrări neadecvate a laserului ori a centrării deficitare în timpul tratamentului laser excimer [1,103]. Pacientul poate acuza postoperator înceţoşarea imaginii, halouri, glare, imagini fantomă ori diplopie [1,103];
- **Centrarea tratamentului** laser **în afara axului vizual** are consecințe vizuale importante în special la pacienții hipermetropi [1,34,103,104]. Pot să apară erori de refracţie, cel mai frecvent subcorecţie sau apariția unui astigmatism indus chirurgical [1,58,103] iar pacienții pot acuza tulburări minore legate de calitatea vederii până la diplopie, multiplopie și imagini fantomă [1,34,103].
- Erori privind **calculul planului de tratament** refractiv, cum ar fi indroducerea greșită a dioptriilor în computerul LASERULUI ori erori la calculul transpoziției [1,58];

COMPLICAȚII INTRAOPERATORII ASOCIATE TEHNICILOR CU ÎNLĂTURAREA LENTICULULUI INTRASTROMAL

- În cazul **pierderii vidului** în timpul realizării lenticulului intrastromal, procedura poate fi reluată fie în același timp operator prin reandocare fie într-un timp operator ulterior, pentru permiterea absorbției bulelor de cavitație deja formate [1,105,106];
- Acțiunea femtolaserului poate fi asociată cu acumularea bulelor de microcavitație intrastromal, **OBL** („opaque bubble layer") ceea ce poate face imposibilă vizualizarea lenticulului în vederea disecției și extracției [1,106];
- **Insulele negre** reprezintă zone în care separarea intratisulară nu s-a produs din cauza acumulării unor detritusuri între cornee și suprafața lentilei conului de andocare și a lipsei acțiunii femtolaserului în aceste arii [1,105,106];

Scanned with OKEN Scanner

- Complicațiile legate de disecția și extracția lenticulului includ: **ruptura inciziei, perforarea** lamelei de cornee anterioară restantă, crearea unui **plan fals de clivaj, adeziuni ale lenticulului, remanența lenticulului** sau a unei porțiuni din acesta. Aceste situații sunt favorizate cel mai frecvent de stabilirea unor parametrii inadecvați pentru tratamentul femtolaser, de funcționarea deficitară a laserului și curba de învățare a medicului chirurg [1,105,106];
- O complicație frecventă în acest tip de chirurgie LASER o reprezintă **eroziunile corneene** cauzate de numeroasele manevre la nivelul suprafeței oculare, incidența acestora fiind dependentă de curba de învățare a medicului chirurg [1,106].

COMPLICAȚII POSTOPERATORII ASOCIATE TEHNICILOR CE PRESUPUN DEZEPITELIZAREA CORNEEI

- Tulburările de transparență subepitelială (îm engleză „**haze**") reprezintă o complicație importantă în perioada postoperatorie, interferând câteodată sever cu acuitatea vizuală și calitatea vederii [1,107–109]. În majoritatea cazurilor complicația este autolimitată și se remite după aproximativ un an, în rare situații însă poate persista câțiva ani sau poate să conducă la apariția unor cicatrice [1,107–109]. Apariția „haze"-ului este asociată cu profunzimea mare a ablației, miopie mare, lipsa integrității membranei Bowman etc [1,109,110].
- În situații rare, un răspuns de vindecare inadecvat poate conduce la complicații severe precum **ulcerații**, necroză stromală (în engleză **„melting"**) și **perforații** [1,111].

COMPLICAȚII POSTOPERATORII IMEDIATE ASOCIATE TEHNICILOR CU VOLET CORNEAN

- Anatomia voletului cornean și a interfeței dintre volet și patul stromal restant precum și procesele de vindecare prin reorganizare celulară ce apar la acest nivel sunt factori ce predispun la apariția unor potențiale complicații [1,112]:
  - **Edemul voletului** poate să apară în primele 1–3 zile postoperator ca urmare a microtraumatismului chirurgical, este autolimitat și se remite sub tratamentul standard postoperator cu corticosteroizi sub protecție antibiotică [1,91];
  - **Striurile voletului**, se subîmpart în două categorii, în funcție de existența sau nu a unui impact asupra acuității vizuale: macrostriuri și microstriuri [1,91]. **Macrostriurile** reprezintă pliuri în toată grosimea voletului [1,34], sunt rare în chirurgia asistată de femtolaser [1,91] și sunt datorate mai frecvent unui traumatism ocular decât unei poziționări deficitare a voletului la finalul intervenției ori nepotrivirea suprafeței posterioare a voletului la patul stromal restant [1,91,113]. Tratamentul

Scanned with OKEN Scanner

macrostriurilor necesită ridicarea, hidratarea pe fața internă, repoziționarea și eventual sutura voletului [1,91,113]. **Microstriurile** sunt pliuri ale membranei Bowman (figura 19) [1,34], sunt evidențiate doar la examinarea biomicroscopică, sunt mai frecvente în cazul tratamentelor miopiilor mari și atât timp cât nu interferă cu acuitatea și calitatea vizuală, necesită doar urmărire [1,91].

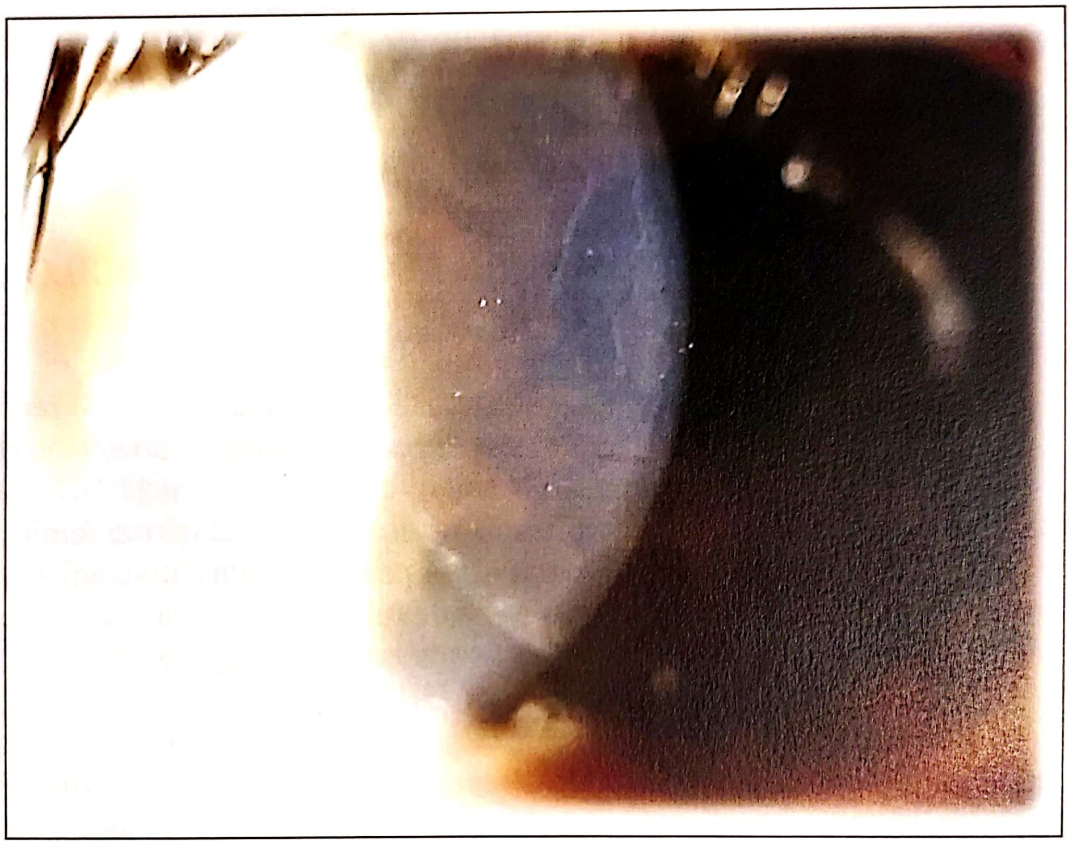


Figura 19. Microstriuri.

- **Dislocarea voletului** apare cel mai frecvent în urma unui microtraumatism sau traumatism ocular, apărând de două ori mai rar în cazul utilizării femtolaserului [1,91,113]. După ridicarea și repoziționarea voletului, dacă se consideră necesar, este posibilă sutura acestuia [1,91].
- **Keratita infecțioasă** este o complicație rară în chirurgia corneană refractivă laser dar din nefericire, atunci când apare, este amenințătoare de vedere [1,58,113]. Poate fi atât uni-cât și bilaterală [1,58,113]. Infiltratele apar de obicei postoperator în primele 3 zile, sunt localizate la nivelul voletului sau al interfeței și pot fi însoțite de hiperemie conjunctivală perikeratică și reacție inflamatorie la nivelul camerei anterioare [1,58,113]. Spectrul bacteriilor este divers iar contaminarea poate fi atât intraoperatorie cât și postoperatorie [1,58,113]. Se recomandă ridicarea voletului, prelevarea probelor pentru culturi, lavajul interfeței cu soluție antibiotică, repoziționarea și sutura voletului, sistarea utilizării steroizilor topici sau reducerea frecvenței administrării acestora precum și utilizarea unor soluții antibiotice cu spectru larg sau a celor fortifiate [1,58,112,113]. În cazurile refractare poate fi necesară amputarea voletului, pentru a

Scanned with OKEN Scanner

facilita penetrabilitatea soluțiilor antibiotic [1,111,115]. De asemenea, au fost descrise cazuri de **keratite virale**, provocate fie de adenovirusuri, cu evoluție autolimitată și prognostic bun, fie de virusul herpetice, cu prognostic sever din punct de vedere al recuperării vizuale [1,112].

– **Keratita difuză lamelară** (DLK, în engleză „Diffuse Lamellar Keratitis"), este cea mai frecventă complicație postoperatorie [1,113,116,117]. Etiologia exactă nu este cunoscută [1,58], însă componenta inflamatorie a fost demonstrată atât prin vizualizarea celulelor inflamatorii la examinarea prin microscopie electronica [1,109,115] cât și prin răspunsul terapeutic favorabil la corticoterapie [1,113,116,117]. Evoluția este de obicei subacută, în prima săptămână de la crearea voletului [1,89] și se remite în cele mai multe situații fără sechele, cu tratament adecvat [1,113,116,117]. Se caracterizează prin apariția unor infiltrate la nivelul interfeței voletului (figura 20) ce produc opacități cu un aspect particular cunoscut sub numele de „sindromul nisipurilor sahariene" („sands of the Sahara syndrome") [1,58,117]. Tratamentul agresiv cu corticosteroizi topici este obligatoriu. În funcție de gravitate se pot asocia corticoterapie orală, ridicarea voletului, lavajul interfeței și repoziționarea voletului. Cea mai severă formă presupune necroza stromală [1,112,118]. Față de tehnica LASIK realizată cu microkeratomul, keratita difuză lamelară din tehnica Femto-LASIK este mai frecventă [1,58,112,119] însă mai ușoară și localizată doar la periferie [1,22,112].

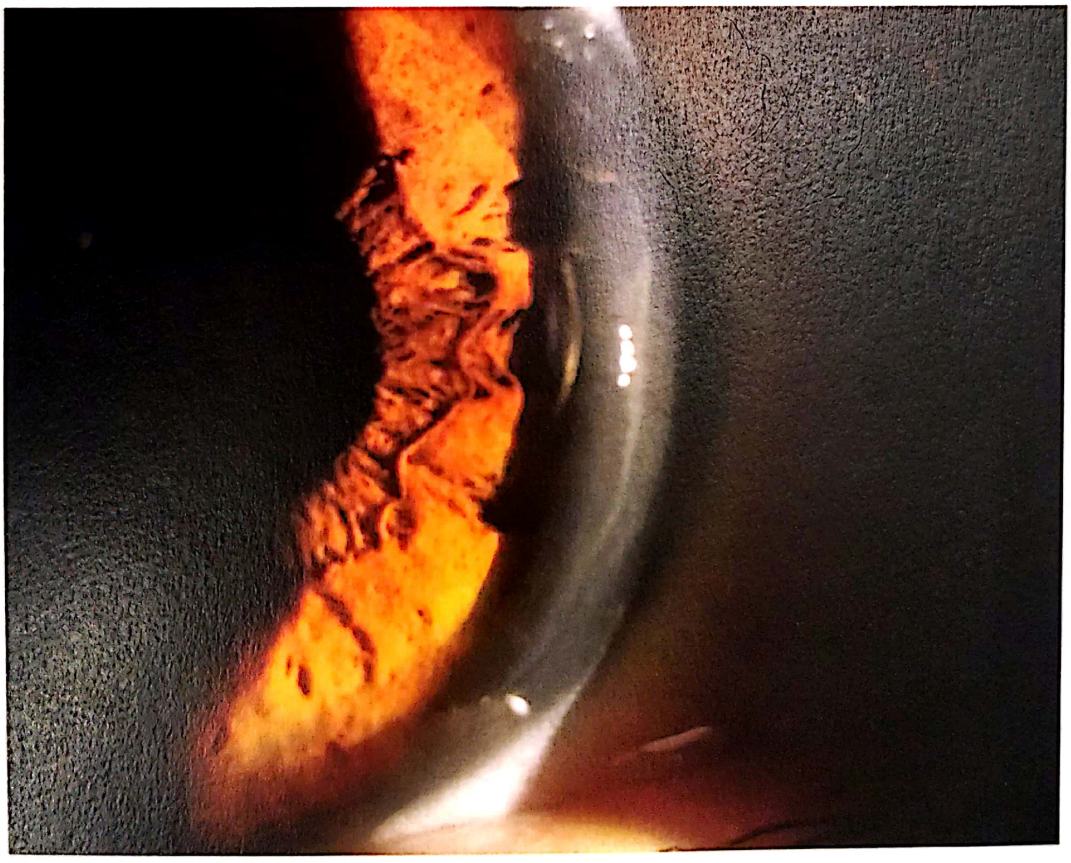


Figura 20. Keratită difuză lamelară gradul 1.

Scanned with OKEN Scanner

– **Proliferarea epitelială sub volet** (în engleză „epithelial ingrowth") (figura 21) se caracterizează prin apariția unor celule epiteliale la nivelul interfeței dintre volet și patul stromal [1,118,120] și are numeroși factori de risc precum: abraziuni epiteliale la nivelul marginilor voletului, introducerea celulelor epiteliale la momentul realizării voletului ori în momentul disecției acestuia, chirurgie laser cu complicații la nivelul voletului, [1,113,118], ablații pentru vicii hipermetropice [1,111]. De asemenea, retratamentul reprezintă un factor de risc [1,112,118,120]. Față de tehnica LASIK clasic, utilizarea femtolaserului în realizarea voletului cornean a redus incidența apariției acestei complicații [1,112]. În majoritatea cazurilor, proliferarea este autolimitată și are loc doar în periferie, pacientul fiind de obicei asimptomatic ori acuzând ușor discomfort ocular de suprafață [1,58,118]. În mod ocazional, proliferarea epitelială poate fi localizată la nivelul interfeței ducând la keratoliză stromală și apariția astigmatismului neregulat [1,118].

Figura 21. Proliferare epitelială sub volet.

– **Keratopatia toxică centrală** este o complicație caracterizată de apariția unei opacități centrale la nivelul interfeței voletului [1,113,121], pliuri la nivelul voletului, aplatizarea corneei centrale și viraj refractiv către hipermetropie [1,118]. Apare la câteva zile postoperator [1,34] și dispare spontan după o perioadă ce poate varia de la 1–4 luni [109] până la 18 luni de la intervenție [1,112]. De obicei evoluția este autolimitată [1,112,113,118,121].

Scanned with OKEN Scanner

- **Keratita stromală presional-indusă** (PISK, în engleză „Pressure-Induced Stromal Keratitis") apare din cauza corticoterapiei topice prelungite, după câteva săptămâni postoperator, mai frecvent în cazul utilizării dexametazonei decât în cazul fluorometolonei [1,34,91,113,118]. Din cauza presiunilor intraoculare mari persistente, apare edem la nivelul interfeței dintre volet și stroma corneană, sub forma unei opacități similare celei din keratita difuză lamelară iar în cazurile severe se poate produce detașarea voletului de suprafața interfeței [1,91,113,118].
- Specific tehnicii Femto-LASIK, pacienții pot acuza apariția unor **disfotopsii** sub formă de curcubeu (în engleză „rainbow glare") datorită micro-neregularităților de la nivelul feței posterioare a voletului. De obicei, aceste acuze nu au impact asupra acuității vizuale și se remit spontan, în timp [1,29,91,98,122].
- **Sindromul de sensibilitate tranzitorie la lumină** este specific tehnicii Femto-LASIK. Acesta constă în apariția unei fotofobii extreme în condițiile unui examen clinic normal și a unei acuități vizuale bune. Acuzele pot persista până la câteva săptămâni după tratamentul laser și cedează prin utilizarea tratamentului topic cu steroizi, într-o schemă agresivă [1,22,29,58,91,96,98,99,123]. Odată cu apariția laserilor de generație nouă care utilizează energie scăzută, incidența acestei complicații a fost redusă [1,58,91].

COMPLICAȚII POSTOPERATORII TARDIVE ALE TEHNICILOR DE CHIRURGIE REFRACTIVĂ

- **Subcorecția** și **supracorecția** apărute postoperator pot fi datorate: unui calcul preoperator neadecvat, funcționării laserului excimer în condiții de umiditate crescută (>40%) ori temperatură crescută (>24°C), a hidratării ori deshidratării stromale excesive înainte de inițierea ablației LASER excimer, a vindecării tisulare neadecvate ori a regresiei [1,34,58]. Abordarea pacientului cu viciu refractiv restant implică inițial temporizarea oricărei intervenții până la obținerea stabilității refractive și topografice [1,58]. Ulterior, corecția prin tehnici laser se poate face fie prin keratectomie fotorefractivă (PRK), fie în cazul tehnicilor cu volet prin ridicarea voletul realizat la prima intervenție, ablație la nivelul patului stromal restant și repoziționare a voletului [1,58].
- Apariția **astigmatismului neregulat** după intervenția laser este de obicei corelată cu existența unei alte complicații [1,58], foarte rar poate fi datorat unei vindecări deficitare, asimetrice ori unei neregularități a fasciculului laser utilizat pentru ablație [1,58]. Apariția postoperatorie a unui astigmatism neregulat este greu de tratat printr-o reintervenție LASER, lentilele de contact dure fiind considerate cea mai bună opțiune în vederea ameliorării acuității vizuale [1,58].
- **Insulele centrale** de minim 1 mm sunt zone situate în centrul corneei ce după ablația laser rămân cu o putere dioptrică cu minim 1D mai mare față de zonele adiacente [1,34,58]. Pacienții acuză diplopie ori scăderea

Scanned with OKEN Scanner

calității vederii [1,34,58]. Cauza este ablația inegală a corneei, radiația laser acționând mai mult asupra corneei periferice. În prezent, datorită utilizării laserilor excimer prin scanare și spot de diametru redus, această complicație este rară în chirurgia refractive [1,58].

- Modificările calității vederii pe timp de noapte (numite **disfotopsii**) nu sunt foarte frecvente în prezent în contextul utilizării femtolaserului și a tehnologiei de ablație ghidată de aberometrie [1,58]. Glarele reprezintă distorsiunea imaginii pentru zonele situate în imediata vecinătate a surselor de lumină, prezente în special pe fond întunecat [1,58]. Halourile sunt definite ca zone neclare sub forma unor cercuri concentrice ce apar în jurul surselor luminoase, de asemenea în vederea nocturnă (de exemplu la farurile mașinilor) [1,58]. Pacienții pot să mai acuze disfotopsii sub formă de raze („starburst") ori combinații ale tuturor acestor modificări [1,58]. În cele mai multe cazuri, aceste simptome dispar în 3–6 luni, în urma așa-numitului proces de neuroadaptare [1,58].
- Apariția **sindromului de ochi uscat** ori agravarea celui preexistent intervenției LASER apare cel mai frecvent în tehnicile cu volet, din cauza secționării la momentul creării voletului cornean a filetelor nervoase ce străbat stroma corneană [1,58,113]. Glanda lacrimală nu mai primește astfel informații cu privire la sensibilitatea corneană iar secreția lacrimală este diminuată [1,58]. După aproximativ 6–12 luni sensibilitatea corneană este recăpătată, prin refacerea filetelor nervoase însă până la acel moment este necesară lubrifierea periodică a suprafeței oculare [1,124].
- Atunci când apare, **ectazia post-chirurgie refractivă laser** este descoperită la majoritatea pacienților (80% din cazuri) în primii doi ani postoperator [1,67] și se manifestă clinic prin apariția unei miopii progresive sau a unui astigmatism miopic ce pot fi eronat interpretate ca regresie în lipsa unor topografii repetate [1,62,67]. Acuitatea vizuală se reduce, neputând fi îmbunătățită de corecția cu lentile aeriene ori lentile de contact moi [1,62]. Ameliorarea acuității vizuale se poate realiza prin adaptarea unor lentile de contact dure, în măsura în care acestea sunt tolerate de către pacienți [1,58,62] ori prin plasarea de segmente de inele corneene intrastromale [1,62]. La pacienții cu ectazie post-LASIK, tehnica de cross-linking cornean a fost demonstrată ca fiind sigură și eficientă, îmbunătățind atât cea mai bună vedere corectată cât și acuitatea vizuală fără corecție și limitând progresia (fiind demonstrată scăderea valorilor keratometrice maxime) [1,125]. În cazurile cu ectazie severă, pentru ameliorarea vederii se impun tehnici de keratoplastie [1,58,62].

BIBLIOGRAFIE

1. Tăbăcaru B. Platforma Laser cu Femtosecunde – LASER Excimer în Chirurgia Viciilor de Refracție, Teză de Doctorat. Universitatea de Medicină și Farmacie "Carol Davila" București, 2019; nr TD 4697.
2. Kohnen T, Strenger A, Klaproth OK, Basic Knowledge of Refractive Surgery – Correction of Refractive Errors Using Modern Surgical Procedures. Dtsch Arztebl Int 2008; 105(9): 163–172.

Scanned with OKEN Scanner

3. Schmidt D, Grzybowski A. Vincenz Fukala (1847–1911) and the early history of clear-lens operations in high myopia. Saudi J Ophthalmol 2013; 27(1): 41–6.
4. Hamilton R, Hardten DR, în Davis EA ed, "Phakic IOLs", One-Network Clinical Education Courses, 2009, https://www.aao.org/course/phakic-iols-3.
5. McAlinden C. Corneal refractive surgery: past to present. Clin Exp Optom 2012; 95(4): 386–98.
6. Bashour M. Radial Keratotomy for Myopia Correction. Medscape. 2017; https://emedicine.medscape.com/ article/1222168-overview#a6.
7. Hoffmann F. Chapter VII – Refractive Corneal Surgery în Blodi FC, Mackensen G, Neubauer H eds. Surgical Ophthalmology, Vol 1, 1991; Springer–Verlag ed, 978-3-642-75387-9.
8. Torres I, Papadaki T. "Chapter 2 – History of LASIK" în Azar DT, Koch DD eds. "LASIK Fundamentals, Surgical Techniques and Complications", 2003; Marcel Dekker ed, 0-8247-0797-4.
9. Mihai C. Predictibilitatea Stromei Reziduale în Tehnica Lasik – Teză de Doctorat. Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila", 2015, București.
10. McDonald MB. The Early History of Laser Vision Correction, Before corneal refractive surgery as we know it today. 2011; https://www.ophthalmologymanagement.com/ supplements/2011/april-2011/lasik-surgery-past,present-future/the-early-history-of-laser-vision-correction.
11. El Bahrawy M, Alió JL. Excimer laser 6(th) generation: state of the art and refractive surgical outcomes. Eye Vis (Lond) 2015; 2:6.
12. Alió JL, El Bahrawy M. Chapter 15 – LASER Refractive Surgery în Artal P ed. Handbook of Visual Optics – Instrumentation and Vision Correction, Vol 2, 2017; CRC Press, 978-1-482-23785-6.
13. Krueger RR, Rabinowitz YS, Binder PS. The 25th Aniversary of Excimer Lasers in Refractive Surgery: Historical Review. J Refract Surg 2010; 26(10): 749–60.
14. Stuart A.A. Look at LASIK Past, Present and Future. EyeNet Magazine 2019; https://www.aao.org/eyenet/ article/look-at-lasik-past-present-future.
15. 15.Kurtz R. The Story of IntraLase – How developers of the femtosecond ophthalmic surgical laser took a chance and built a company. 2002; https://crstoday.com/articles/2002-may/0502_041-html/
16. 16.Tomita M. Optimizing Visual Results With a Femtosecond Laser – The precision of the femtosecond laser and its subsequent software developments has expanded the application of this technology. 2013; https://crstoday.com/articles/2013-jan/optimizing-visual-results-with-a-femtosecond-laser/
17. 17. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Small incision lenticule extraction (SMILE) history, fundamentals of a new refractive surgery technique and clinical outcomes. Eye Vis (Lond) 2014; 1: 3.
18. 18. Ganesh S, Brar S, Arra RR. Refractive lenticule extraction small incision lenticule extraction: A new refractive surgery paradigm. Indian J Ophthalmol. 2018; 66(1): 10–19.
19. El Barrio JLA, Vargas V, Al-Shymali O, Alió JL. Small incision lenticule extraction (SMILE) in the correction of myopic astigmatism: outcomes and limitations - an update. Eye Vis (Lond) 2017; 4: 26.
20. Touboul D, Salin F, Mortemousque B, Chabassier P, Mottay E, Léger F, Colin J. Advantages and disadvantages of the femtosecond laser microkeratome. J Fr Ophtalmol 2005; 28(5): 535–46.
21. Bischoff M, Strobrawa G. "Chapter 1 – Femtosecond Laser Keratomes for Small Incision Lenticule Extraction (SMILE)" în Sekundo W ed, "Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) Principles, Techniques, Complication Management and Future Concepts", 2015; Springer ed, 978-3-319-18529-3.
22. Soong HK, Malta JB. Femtosecond Lasers in Ophthalmology. Am J Ophthalmol 2009; 147:189-197.
23. Torres R, Ang RT, Azar DT. "Lasers in LASIK, Basic Aspects", în Azar DT, Koch DD eds, "LASIK: Fundamentals, Surgical Techniques and Complications", 2003, Marcel Dekker ed, 0-8247-0797-4.
24. Vlaicu VM, „Tratamentul Astigmatismelor Hipermetropice și Mixte prin Metoda Lasik – Teză de Doctorat", 2014, Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila", București.

Scanned with OKEN Scanner

48. Chan A, Manche EE. Effect of preoperative pupil size on quality of vision after wavefront-guided LASIK. Ophthalmology, 2011; 118:736–41.
49. Pop M, Payette Y. Risk factors for night vision complaints after LASIK for myopia. Ophthalmology; 2004; 111:3–10.
50. American Academy of Ophthalmology Preferred Practice Patterns Committee. Preferred Practice Pattern® Guidelines. Comprehensive Adult Medical Eye Evaluation. San Francisco, CA: American Academy of Ophthalmology; 2010. Available at: www.aao.org/ppp.
51. American Academy of Ophthalmology. Policy Statement. Preoperative Assessment: Responsibilities of the Ophthalmologist. San Francisco, CA: American Academy of Ophthalmology; 2012. Available at: http://one.aao.org/CE/PracticeGuidelines/Clinical Statements.aspx. Accessed October 3, 2012.
52. American Academy of Ophthalmology. Policy Statement. An Ophthalmologist's Duties Concerning Postoperative Care. San Francisco, CA: American Academy of Ophthalmology; 2012. Available at: http://one.aao.org/CE/PracticeGuidelines/ClinicalStatements.aspx. Accessed October 3, 2012.
53. AlKharashi M, Bower KS, Stark WJ, Daoud YJ. Refractive Surgery in Systemic and Autoimmune Disease. Middle East Afr J Ophthalmol 2014; 21(1): 18–24.
54. Celea C, „Chirurgie Refractivă", 2003, Editura Universitară "Carol Davila", București, 973-7918-55-X
55. Spoerl E, Zubaty V, Raiskup-Wolf F, Pillunat LE. Oestrogen-induced changes in biomechanics in the cornea as a possible reason for keratectasia. Br J Ophthalmol 2007; 91(11): 1547–50.
56. Hovanesian JA, Faktorovich EG, Hoffbauer JD, Shah SS, Maloney RK. Bilateral bacterial keratitis after laser in situ keratomileusis in a patient with human immunodeficiency virus infection. Arch Ophthalmol 1999; 117(7): 968–70.
57. Dupps WJ, Wilson SE, "Chapter 78: Biomechanics and Wound Healing in Refractive Surgery" în Albert DM, Miller JW *et al.* eds, "Albert & Jakobiec's Principles and Practice of Ophthalmology", 3rd ed, 2008, Saunders Elsevier ed, 978-14-1600-016-7.
58. Neff KD, Probst LE, "Chapter 166 – LASIK Complications" în Krachmer JH, Mannis MJ, Holland EJ eds, "Cornea – Fundamentals, Diagnosis and Management" 3rd ed, 2011, Mosby Inc, 978-0-323-06387-6.
59. De Rojas Silva MV, Díez-Feijóo E, Javaloy J, Sánchez-Salorio M. Prophylactic perioperative antiviral therapy for LASIK in patients with inactive herpetic keratitis. J Refract Surg 2006; 22: 404–6.
60. Dhaliwal DK, Romanowski EG, Yates KA, Barnhorst DA, Goldstein M, Deeter RG, Fish DN, Gordon YJ. Valaciclovir inhibits recovery of ocular HSV-1 after experimental reactivation by excimer laser keratectomy. Cornea 1999; 18: 693–9.
61. Dhaliwal DK, Romanowski EG, Yates KA, Hu D, Mah FS, Fish DN, Gordon YJ. Valaciclovir inhibition of recovery of ocular herpes simplex virus type 1 after experimental reactivation by laser in situ keratomileusis, J Cataract Refract Surg 2001; 27: 1288–93.
62. Moshirfar M, Espandar L. Ectasia After LASIK. American Academy of Ophthalmology, http://www. eyewiki.org/Ectasia_After_LASIK.
63. Santhiago MR, Smadja D, Gomes BF, Mello GR, Monteiro ML, Wilson SE, Randleman JB. Association Between the Percent Tissue Altered and Post–LASER In Situ Keratomileusis Ectasia in Eyes With Normal Preoperative Topography. Am J Ophthalmol, 2014, 158(1):87-95.
64. Simón-Castellvi GL, Simón-Castellvi S *et al.*, "Fundamentals on Corneal Topography" în Amar Agarwal, Athiya Agarwal, Jacob S eds, "Dr Agarwal's Textbook on Corneal Topography Including Pentacam and Anterior Segment OCT", 2010, 2nd ed, Jaypee ed, 978-81-8448-861-6.
65. Arce CG, Trattler W, "Chapter 13: Keratoconus and Keratoectasia" în Boyd S, Guttierez AM, McCulley JP eds, "Atlas and Text of Corneal Pathology and Surgery", 2013, Jaypee ed, 978-99-6267-833-5.
66. Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, Stulting RD. Risk Assessment for Ectasia after Corneal Refractive Surgery, Ophthalmology, 2008, 115(1):37-50.
67. Randleman JB, "Chapter 167 – Corneal Ectasia" în Krachmer JH, Mannis MJ, Holland EJ eds, "Cornea – Fundamentals, Diagnosis and Management" 3rd ed, 2011, Mosby Inc, 978-0-323-06387-6.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 6

CHIRURGIA OCULARĂ LASIK. RISCURI ŞI COMPLICAŢII

RODICA LASCU

- Timp de mai mult de 30 de ani, chirurgia oculară cu LASER a fost efectuată în întreaga lume pentru a corecta erorile de refracţie, incluzând miopia, hipermetropia şi astigmatismul.
- **Studiile clinice au arătat – chirurgia oculară cu laser este una dintre cele mai sigure proceduri elective disponibile astăzi** [1].

Cu toate acestea, **toate procedurile medicale şi chirurgicale prezintă un anumit risc.**

RISCURILE LASIK

- Printre problemele potenţiale de care trebuie să conştientizăm sunt:
  - *Supracorecţia sau sub-corecţia erorilor de refracţie* înseamnă că puterea de focalizare a ochiului este uşor în afara domeniului ţintă după operaţie. Este neobişnuit şi aproape întotdeauna poate fi corectat cu o procedură de îmbunătăţire pentru a perfecţiona în continuare forma corneei. Rata procedurilor de îmbunătăţire este de aproximativ 1% la nivel mondial.
  - *Pierderea clarităţii vizuale:* aceasta este atunci când vederea fluctuează şi este posibil să nu fie atât de limpede, cât a fost imediat după procedură. Apare la aproximativ 1–2%, în timp ce vederea lor se stabilizează după operaţie şi se rezolvă în mod normal în 6 luni [2].
  - *Ochi uscat:* acesta este un efect secundar comun pentru câteva săptămâni sau luni după operaţie, dar tinde să nu fie o problemă continuă. Dacă persistă, există de obicei alte probleme de bază. Ochiul uscat este mai probabil după LASIK, dar trebuie cercetat dacă există un istoric al acestei afecţiuni [2].
  - *Problemă cu clapeta:* aceasta poate apărea atunci când clapeta corneei creată în timpul LASIK este mutată din loc înainte de vindecare. Se poate preveni acest lucru urmând instrucţiunile postoperatorii ochii să nu fie frecaţi, să nu se revină la înot sau la sport prea curând [2].

Scanned with OKEN Scanner

- **Chirurgie laser oculară: riscuri şi reacţii adverse**
  - ***Temporară / directă sau la ceva timp după operaţie:***
    - Senzaţie de uscăciune
    - Senzaţie de corp străin
    - Sensibilitate crescută la lumină
    - Deficienţa vederii la amurg / strălucire noaptea
    - Vedere uşor înceţoşată imediat după tratament
    - Fenomene uşoare (aşa-numitele „halos")
    - Probleme cu procesul de vindecare a corneei, infecţii
    - Dacă cei doi ochi sunt operaţi la distanţă de mai multe zile: pot apărea imagini duble sau o uşoară senzaţie de ameţeală [3]
  - ***Deficienţele permanente pot fi:***
    - Pierdere uşoară a vederii de contrast
    - Sensibilitate crescută la strălucire (în special noaptea)
    - Supra sau sub-corecţie a vederii
    - Creşterea riscului de apariţie a ectaziei corneene – riscul creşte odată cu scăderea grosimii corneei
    - Insuficienţă a glandelor lacrimale / ochi permanent uscaţi [4].

Nu toată lumea este un candidat potrivit pentru chirurgia ochilor LASIK [5,6].

Anumite afecţiuni şi factori anatomici pot creşte riscul unui rezultat nedorit sau pot limita rezultatele optime ale LASIK. Acestea includ:

- Cornee prea subţire sau neregulată
- Pupile mari
- Eroare de refracţie ridicată
- Vedere instabilă
- Ochi uscaţi
- Vârsta pacientului
- Starea de gravidă
- Tulburări autoimune degenerative sau active ale pacientului.

RISCURILE REALE ALE CHIRURGIEI OCULARE CU LASER

- *Ochii uscaţi.* Acesta este un simptom comun pe care mulţi pacienţi îl vor experimenta după procedură. Chirurgul va prescrie picături de ochi pentru a face faţă acestor simptome care, în cele mai multe cazuri, sunt temporare. Preocuparea pentru acest aspect este necesară numai dacă ochii uscaţi continuă timp de 6 luni sau mai mult după procedură [7].
- *Modificări ale vederii nocturne* – întreruperi vizuale, halos sau o strălucire în timp ce conduci [7].

Scanned with OKEN Scanner

EXISTĂ CHIRURGIE OCULARĂ CU LASER FĂRĂ RISCURI? [7]

- ***Orice intervenţie chirurgicală este un risc.***

Complicaţiile LASIK pot fi clasificate în complicaţii intraoperatorii şi postoperatorii:

Complicaţii intraoperatorii

Complicaţii ale lamboului legate de microkeratom. Rata de complicaţie intraoperatorie a fost raportată între 0,7–6,6%, cel mai frecvent legat de microkeratom, fie mecanic sau femtosecund (FS).

- ***Buton Flap*** cauzată de fluturarea corneei în timpul creării clapelor; factorii de risc includ: pierderea aspiraţiei, lama defectă, avansarea anormală a lamei.
  - Management:
    - Nu efectuaţi ablaţie cu laser, recrutaţi clapeta şi ablaţi cel puţin trei luni mai târziu [5,8].
    - ***Capac liber*** cauzat de inadecvarea ţesutului capturat în inelul de aspiraţie, apare predominant în corneea plată. Pentru a preveni capacul liber, se foloseşte inel mai mare şi se aleg balamale cu clapete mai mari [8].
  - Management:
    - Efectuaţi ablaţie cu laser, orientaţi capacul în mod corespunzător şi înlocuiţi-l pe pat, permiteţi uscarea în aer timp de 3–5 minute [5].
- ***Clapete incomplete, scurte sau neregulate*** cauzate de aspiraţie inadecvată sau defecţiuni ale microkeratomului.
  - Management: Nu manipulaţi clapeta, nu efectuaţi ablaţie cu laser, nu plasaţi o lentilă de contact cu bandaj recrutaţi clapeta şi ablaţi cel puţin trei luni mai târziu [8].
- ***Perforarea corneei*** este o complicaţie rară, dar devastatoare. A fost raportat la modelele mai vechi de microkeratomi mecanici atunci când nu a fost asamblat corespunzător sau placa de adâncime nu a fost plasată corect. Poate să apară şi în timpul ablaţiei cu laser pe corneea extrem de subţire [8].
  - Management: Dezactivaţi imediat aspiraţia, îndepărtaţi microkeratomul şi reparaţi perforaţia în mod steril [5].
- ***Dezvoltare verticală a gazelor*** are loc în timpul creării clapetei asociată cu laser FS, ceea ce duce la scăparea bulelor de gaz din planul de disecţie în spaţiul subepitelial. Cauza nu este cunoscută, dar poate avea în vedere o clapă subţire sau o pauză focală în stratul Bowman.
  - Management: Ridicaţi clapeta cu precauţie şi efectuaţi ablaţie cu laser.
- ***Bule de gaz din camera anterioară*** apare în timpul creării clapetei asociată cu laser FS, ceea ce duce la scăparea bulelor de gaz din planul

Scanned with OKEN Scanner

de disecţie în reţeaua trabeculară, apoi către camera anterioară. Bulele din camera anterioară se auto-limitează şi se rezolvă pe o perioadă scurtă de timp [8].

- **Defect epitelial cornean**
  - Factorii de risc ai eroziunii epiteliale în timpul LASIK includ vârsta mai înaintată, traumatismele corneene anterioare, diabetul zaharat, distrofia membranei sub epitelial şi tipul de microkeratom.
  - Poate apărea şi în microkeratomul cu laser FS cu o incidenţă redusă.
  - Defectul epitelial poate predispune la vindecarea întârziată, cheratita lamelară difuză (KLD), ingrowth epitelial, striu flap şi keratită infecţioasă.
  - Prevenire: limitarea medicamentelor topice toxice, minimizarea utilizării anesteziceloor topice, utilizarea frecventă a picăturilor lubrifiante, inspecţia preoperatorie a lamei şi întreţinerea meticuloasă a microkeratomului.
    - Management: Utilizarea lentilelor de contact moi pansament pentru defecte mai mari (> 1 mm), lubrifianţi topici până când se re-epitelializează [5,8].
- **Sângerarea membranelor**
  - Se întâlneşte în: prezenţa panusului corneean
    - Management: Aplicarea unei presiuni blânde pe vase cu un burete uscat direct sau împingând un pliu de conjunctivă peste alimentatoarele membranei cu un burete uscat. Se îndepărtează orice sânge din zona ablaţiei. După înlocuirea clapetei, se poate folosi fenilefrina 2,5% pentru a strânge vasele de sânge [8].
- **Resturi de interfaţă**
  - Sursele includ secreţii de glandă meibomiană, particule din bureţi, din mănuşi, fragment metalic din lamă, celule din sânge, celule epiteliale şi resturi din pelicula lacrimală.
    - Prevenire: Utilizarea unui specul aspirant, operaţie într-un mediu fără scame, să fie curăţate genele şi pleoapele.
    - Management: Numai dacă este o reacţie inflamatorie provocată de resturi, se ridică clapeta, irigare şi îndepărtarea resturilor manual. În caz contrar, sunt **bine tolerate** [8].

Complicaţii postoperatorii

- **Supracorecţie şi subcorecţie**
  - sunt legate de algoritmul de ablaţie [5,8]
- **Flap Fold sau Striuri**

Factorii de risc pentru pliurile clapelor includ irigarea excesivă a clapetei în timpul LASIK, repoziţionarea slabă a clapetei la sfârşitul procedurii, clapete subţiri, ablaţie profundă. Cutele pot fi clasificate în macro- şi microstrii [9].

- *Macrostriuri*: sunt cu grosime completă, se pliază pliuri stromale, apar din cauza malpoziţiei clapelor sau alunecării.
  - Management: Se efectuează imediat repoziţionarea. După 24 de ore, suturare la nevoie [8].

Scanned with OKEN Scanner

- *Microstriae:* sunt falduri fine în stratul lui Bowman, apar din cauza nepotrivirii clapetei la patul nou şi adesea nesemnificative din punct de vedere vizual.
  - Management: Lubrifiere agresivă, dacă este semnificativ din punct de vedere vizual, se efectuează refloating şi suturare [8].

- **Dislocarea clapei**
  - Factorii de risc sunt: frecarea ochilor, ochiul uscat excesiv, prezenţa abraziunii epiteliale, repoziţionarea intraoperatorie slabă, irigarea excesivă a clapetei şi traumatismele.
    - Prevenire: Verificarea aderenţei clapetei la sfârşitul procedurii, reamintirea pacientului să nu strângă, să nu frece ochii, să poarte acoperire pentru primele 24 de ore şi în fiecare noapte pentru prima săptămână [9].
    - Management: Repoziţionarea clapetei, suturarea clapetei în caz de pliere persistentă şi folosirea lubrifianţilor [8].
- **Ochi uscat şi senzaţie de corp străin cornean**
  - Ochiul uscat este unul dintre cele mai frecvente reacţii adverse ale LASIK la 60–70% din toţi pacienţii cu grade diferite datorate deenervării corneei.
    - Prevenire: Efectuarea unui examen minuţios preoperator pentru a descoperi sindromul de ochi uscat şi tratament agresiv cu unguent ciclosporină A topic şi tratament sistemic cu tetracicline orale şi acizi graşi omega-3.
    - Tratament
      - sindrom usor: utilizarea frecventă a lacrimilor artificiale şi a gelurilor.
      - sindrom sever: ciclosporină A, corticosteroizi topici, tetracicline, acizi graşi omega-3 oral şi ocluzie a punctului lacrimal.
- **Keratita lamelară difuză (KLD)** Keratită lamelară difuză (KLD). „Nisipurile Saharei", aceasta este inflamaţia sub clapa LASIK, care poate avea mai multe cauze. Unele inflamaţii ale corneei după operaţia LASIK sunt normale. Dar dacă este necontrolat, ca în KLD, poate interfera cu vindecarea şi poate provoca aberaţii vizuale şi pierderea vederii.
  - Dacă apare KLD, aceasta răspunde de obicei la terapii precum antibiotice şi steroizi topici.
  - Clapeta trebuie să fie ridicată şi curăţată pentru îndepărtarea celulelor inflamatorii şi pentru a preveni deteriorarea ţesuturilor.
- **Keratita stromală indusă de presiune (KSIP)**
  - KSIP este o opacitate a interfeţei cu debut tardiv similar cu KLD, cu o fisură de fluid vizibilă în interfaţă, ca urmare a creşterii PIO din cauza tratamentului prelungit cu corticosteroizi.
    - Management: încetarea corticosteroizilor şi utilizarea medicamentelor anti-glaucom pentru a scădea PIO [8].
- **Keratită toxică centrală (KTC)** [8]

Scanned with OKEN Scanner

- **Keratită infecţioasă**
  - Infecţia sub un lambou LASIK este una dintre cele mai grave complicaţii cu ameninţarea vederii. Cele mai frecvente organisme sunt bacteriile gram pozitive urmate de micobacterii atipice.
    - Simptome: scăderea vederii, durere, fotofobie şi roşeaţă [10]
    - Diagnostic diferenţial: KLD care se observă în primele 24 de ore şi începe la periferia clapelor
    - Prevenire: sterilizarea adecvată a instrumentelor, tratamentul preoperator al blefaritei, utilizarea tehnicii chirurgicale sterile, profilaxia antibiotică postoperatorie.
  - Management: Ridicaţi clapeta, curăţaţi interfaţa şi irigaţi cu antibiotice. Începeţi tratamentul empiric fortificat, inclusiv vancomicină (50 mg/ml), tobramicină (14 mg/ml) sau gatifloxacină, moxifloxacină [5]. Micobacterii atipice: claritromicină topică (10 mg/ml), claritromicină orală (500 mg) şi amikacină topică (8 mg/ml); în keratită fungică: Natamicină (50 mg/ml), amfotericină (1,5 mg/ml).
- **Îngropare epitelială.** Acest lucru se întâmplă atunci când celulele din stratul exterior al corneei (epiteliu) cresc sub clapetă după operaţia LASIK. În cele mai multe cazuri, îngroparea epitelială se auto-limitează şi nu provoacă probleme. Dar, în unele cazuri (se raportează la 1–2 din procedurile LASIK), pot apărea simptome de disconfort şi/sau vedere înceţoşată şi este necesară o intervenţie chirurgicală suplimentară pentru ridicarea clapetei şi eliminarea celulelor epiteliale [5].
  - Factorii de risc sunt aderenţa slabă a marginilor clapetei, abraziuni epiteliale la marginea clapetei, ablaţia la marginea patului stromal, neregularitatea epitelială la marginea clapetei, introducerea celulelor epiteliale în timpul tăierii sau introducerea instrumentelor, irigare necorespunzătoare, reoperaţie.
  - Sunt recunoscute două tipuri de îngropare epitelială: perle epiteliale izolate în interfaţă şi membrana epitelială care creşte în interfaţă de la periferie [8].
  - Simptome: vedere redusă, astigmatism neregulat.
    - Prevenire: Evitarea abraziunii epiteliale, îndepărtarea celulelor epiteliale şi a resturilor din interfaţă şi evitarea zonei largi de ablaţie.
    - Management: Nu există tratament pentru cuiburi izolate asimptomatice, la nevoie ridicarea clapetei şi răzuirea părţii inferioare şi a patului stromal, apoi repoziţionarea clapetei [5].
- **Keratectasia sau keratoconul.** Aceasta este o complicaţie neobişnuită care poate apărea dacă este îndepărtat prea mult ţesut din cornee în timpul LASIK sau dacă corneea înainte de LASIK este slabă, aşa cum rezultă din cartografierea topografiei corneei. Rareori se dezvoltă keratoconus după LASIK fără factori de risc cunoscuţi.
  - lentilele de contact permeabile la gaze sau implanturile corneene (Intacs) pot fi prescrise pentru a menţine corneea la locul său, sau poate fi efectuat un tratament numit reticularea colagenului cornean pentru a consolida corneea [5,8].

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Dr. Robert Löblich: Was ist die LASIK? *LASEK* versus *LASIK – Was ist der Unterschied?* PRK und LASEK-Kosten, Operation, Risiken www.augen-lasern-vergleich.de › ... 22 ian. 2015.
2. Dr. Abi Tenen. *What are the risks of laser eye surgery?* 18/10/2018 Vision Eye Institute Melbourne (St Kilda Rd) and Vision Eye Institute Blackburn South; visioneyeinstitute. com.au>wh...
3. Augenärzte Oberland Risiken der Augenlaserbehandlung – wie gross sind sie? – AZ ... *Die Risiken einer Lasertherapie* am *Auge sollten vorsichtig abgewogen* werden, bevor man sich für *die* Behandlung entscheidet. ... *www.augentagesklinik-oberland.ch › ... 20. November 2017* (Aktualisiert: 27. Oktober 2020).
4. Dr. Isabella Schreiber. *Fachärztin für Augenheilkunde Service Center AOK* – Clarimedis Laserbehandlung am Auge: Chancen und Risiken der OP www.vigo.de › *augen › lesen* Augen lasern: Entscheidungshilfe – vigo – Vigo.de Letzte Änderung: 16.01.2020.
5. Brian S. Boxer Wachler, *MD LASIK Risks and LASIK Complications* – AllAboutVision.com, www.allaboutvision.com › lasi... Page updated January 2021.
6. Leber Raoul, *Care Vision; Laser op der Augen.* www.youtube.com › *watch* 17 iul. 2015.
7. www.londonvisionclinic.com What Are The Chances Of Complications In Laser Eye Surgery? 27nov.2014.
8. Majid Moshirfar, M.D., Ladan Espandar, M.D., *M.S. LASIK Complications*, Eyewiki.aao.org>LASIK_CoLASIK Complications-eyewiki27febr.2020.
9. Jesper Hjortdal, MD, PhD, Aarhus, Denmark Steven Wilson, MD, *Point-Counterpoint: SMILE* versus *LASIK Point* – A SMILE is My Greatest Asset, Counterpoint – LASIK: The Clear Choice Cleveland Published 5 February 2019.
10. Tae-im Kim, Jorge L Alió del Barrio, Mark Wilkins, Beatrice Cochener, Marcus Ang. *Refractive surgery has evolved beyond laser refractive* ...30 nov.2019(PDF) Refractive surgery – ResearchGate *www.researchgate.net › 33315...* Review www.thelancet.com Vol 393, 2019, May 18.
11. Dumitrache M, Lascu R. *Laser treatment in refractive cornea surgery* – International Journal of Open Medicine and Surgery – 2020, 1/1, 28–32.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 7

TRATAMENTUL LASER YAG-NEODINIUM ÎN OPACIFIEREA CAPSULEI POSTERIOARE

CRISTINA NICULA

- Opacifierea capsulei posterioare (OCP) apare după operația de cataractă, fiind o consecință naturală a chirurgiei moderne a cataractei, care apare după minim trei luni post-operator.
  - Constituie una din complicațiile tardive frecvente ale operației de cataractă, cu repercusiuni asupra acuității vizuale [1].
    - Charleux susține creșterea frecvenței OCP odată cu trecerea timpului, 10–15% la doi ani postoperator [1].
- Chirurgia modernă a cataractei presupune o capsulă posterioară intactă și menținerea unei porțiuni a capsulei anterioare, menținând sacul capsular pentru implantarea cristalinului artificial.
  - ***Capsula propriu-zisă nu se opacifiază, ci se dezvoltă o membrană opacă ca un rezultat al proliferării și migrării celulelor epiteliale regenerative spre capsula posterioară.***
- **Laser-ul Yag Neodinium este cea mai cunoscută modalitate de tratare a OPC.**
- Incidența OCP variază și este influențată de vârsta pacientului, istoricul de inflamație oculară, prezența pseudoexfolierii capsulare, existența capsulorexisului, fixarea intrasaculară a cristalinului, tipul pseudofakului, materialul din care este fabricat cristalinul artificial și timpul scurs de la chirurgia cataractei.
  - IOL siliconice (generația a doua) ar oferi o rată crescută a OPC prin faptul că stimulează și catalizează metaplazia celulelor epiteliului anterior cristalinian [5].
  - Steinert *et al.* [6] arată că frecvența opacifierii capsulei posterioare la adulți scade pe măsura creșterii vârstei.
  - La tineri, aproape în 100% a cazurilor, OPC apare la doi ani postoperator.
- În cristalinul normal, proliferarea celulelor epiteliale cristaliniene este limitată la suprafața anterioară, la nivelul regiunii ecuatoriale. Acest strat de celule cuboidale poate fi divizat în două zone diferite:

Scanned with OKEN Scanner

- zona centrală anterioară (corespunzând zonei anterioare a capsulei anterioare) cuprinde un strat de celule cuboidale plate, celule epiteliale cu activitate mitotică minimă. Ca răspuns la o varietate de stimuli, celulele epiteliale de tip A proliferează şi trec la metaplazie fibrotică (pseudofibrotică).
- zona ce continuă celulele epiteliului anterior în jurul ecuatorului, formează arcul celular ecuatorial (celule E) cu activitate mitotică activă. Fibrele cristaliniene se formează permanent în această zonă de-a lungul vieţii.
- deşi, ambele tipuri de celule pot produce opacifiere capsulară, **în patogenia OCP intervin doar celulele ecuatoriale.**
  - diferenţierea celulelor ecuatoriale în structuri tip fibră generează **inelul Soemmerring** şi îngroşarea periferică a sacului cristalinian.
  - în imediata vecinătate a capsulorexisului prin edemul celulelor apar **Perlele Elschnig** care pot acoperi axul vizual.
- Stanford *et al.*[11] au descris în studiile *in vitro*, pe model animal că diferite citokine şi factori de creştere (TGF-β) joacă un rol important în patogenia OCP
  - **(FGF-2) sunt cele mai importante în geneza OCP la oameni**
  - Aceste citokine acţionează ca stimulatoare ale diferenţierii miofibroblastice şi ataşamentului celulelor epiteliale restante pe capsula posterioară.

- La patogenia OCP concură mai mulţi factori.

Factori în legătură cu tehnica chirurgicală

- ***Hidrodisecţia*** – hidrodisecţie şi separare corticală, irigarea capsulei izolează capsula cristaliniană internă şi facilitează îndepărtarea resturilor corticale şi celulele epiteliale, prevenind OCP [13].
- ***Fixarea intrasaculară a pseudofacului*** – conferă avantajul unei centrări bune şi îndepărtează IOL de ţesutul uveal. Pe de altă parte creşte efectul de „barieră" care este maxim şi complet odată cu fixarea IOL de cameră posterioară (IOL-CP) intrasacular [14], fiind în contact direct cu capsula posterioară conform dogmei „no space, no cells".
- ***Mărimea capsulorexisului*** – capsulorexisul continuu, circular şi care să acopere cu 0,5–1 mm partea optică reprezintă unul din factorii ce concură la împiedicarea proliferării celulare. Prin aceasta se realizează o plasare strânsă a opticii şi o sechestrare a opticului în sacul capsular de umoarea apoasă din jur [15].

Factori în legătură cu pseudofacul

- Biocompatibilitatea IOL – Milauskas *et al.* [16] au evaluat incidenţa şi timpul de apariţie a OCP pe diferite tipuri de IOL-CP siliconice sau acrilice, concluzionând că cea mai mare rată a OCP a fost în cazul IOL-CP din silicon. Nishi *et al.* [8] a comparat cele două tipuri de implante relevând **efectul profilactic mai bun al IOL acrilice în apariţia OCP.**

Scanned with OKEN Scanner

- **Design-ul pseudofacului** – Partea optică a IOL acţionează prin două efecte, efectul de barieră şi efectul de edge (de margine). Studiile lui Nishi *et al.* [8] precizează rolul geometriei opticului IOL-CP şi în mod particular efectul de barieră indus de marginea opticului în legătură cu migrarea centripetă a celulelor epiteliale de-a lungul capsulei posterioare, de la ecuatorul sacului spre axul vizual. Acesta este efectul de „margine". Apare mai frecvent la IOL-CP în care secţiunea opticului este verticală (*square edge*) sau trunchiată.

Rolul hapticului şi a joncţiunii optic-haptic

- Acţiunea hapticului diferă de mecanismul de suport. De câte ori suprafaţa de suport este redusă şi localizată la două puncte opuse, hapticul poate cauza cutarea capsulei posterioare, facilitând migrarea celulelor pentru formarea opacifierii capsulei posterioare. În cazul IOL-CP cu suprafaţă de suport largă, acţiunea anselor este transferată la circumferinţa capsulei, iar cutarea este omogenă.
- Studiile lui Nixon [5] arată că folosirea unui profil mic al joncţiunii haptic-optic dă o frecvenţă scăzută a opacifierii capsulei posterioare, pe când o joncţiune optic-haptic voluminoasă a unor IOL-CP interferează cu apoziţia corespunzătoare a capsulei anterioare de cea posterioară, anulând efectul de barieră chiar şi cu un design cu o margine pătrată a părţii optice, facilitând proliferarea celulelor epiteliale.

- Forme etiopatogenetice OCP:
  - **Fibroza capsulară** – bandă sau placă cenuşie sau opacifiată precoce sau tardiv postoperator. Dacă apare în primele zile postoperator reprezintă cel mai adesea un rest de cortex restant, neîndepărtat intraoperator sau momentul operator este prea întârziat şi opacitatea subcapsulară posterioară s-a transformat în fibroză capsulară.
  - **Perlele Elschnig** – Apar la câteva luni sau ani postoperator, forma cel mai des întâlnită la copii şi tineri; la biomicroscop apare sub formă de „icre de peşte" pe capsula posterioară.
  - **Inelul Sommering** – Este urmarea proliferării celulelor nucleare în spaţiul dintre restul de capsulă anterioară şi aderenţa la capsula posterioară [14].

- **Tratamentul LASER al opacifierii de capsulă posterioară**
  - Tratamentul laser al opacifierii de capsulă posterioară se efectuează cu **LASER-ul Yag-Neodinium Garnet** [17].
    - Este un laser puls, care emite în domeniul infraroşu:1064 nm şi care are ca efect disrupţia tisulară, care nu este dependentă de pigmentaţia ţesuturilor oculare. Singurul laser cu acest efect este Nd-Yag Q-*switched.* În general cantitatea mare de energie eliberată se va concentra în locul unde se doreşte obţinerea exploziei, cu o cantitate minimă de energie.

Scanned with OKEN Scanner

- Indicaţiile capsulotomiei Yag sunt următoarele:
  - scăderea acuităţii vizuale remarcată de pacient după o perioadă de la actul operator excluzând alte cauze de vedere diminuată;
  - vizualizarea mai bună a fundului de ochi, în vederea tratamentului retinopatiei diabetice;
  - pentru evaluarea papilei nervului optic; pentru diagnostic în tumorile intraoculare sau alte boli ce necesită evaluare oftalmologică [18,19];
  - ca tratament în glaucomul malign;
  - diplopie monoculară sau ceaţă cauzată de cutarea capsulei posterioare sau fibrozarea sa;
  - fimoza capsulară cu afectarea axului vizual.
- Contraindicaţiile capsulotomiei Yag există în prezenţa:
  - cicatricilor corneene neregulate sau edemului corneean care ar împiedica o vizualizare bună a target-ului Yag-ului pe capsula posterioară;
  - fixarea inadecvată a bolnavului ar creşte riscul deteriorării părţii optice a IOL;
  - prezenţa sau suspiciunea existenţei unui edem macular cistoid, luând în considerare beneficiul persistenţei unei capsule posterioare intacte;
  - inflamaţii oculare acute;
  - risc crescut de dezlipire de retină, ochi miop sau prezenţa dezlipirii de retină pe ochiul congener.

Pregătirea pacientului

- Examen ocular complet: determinarea acuităţii vizuale, presiunea intraoculară, examen biomicroscopic, examenul fundului de ochi (dacă este posibil) şi în cazul suspiciunii edemului macular efectuarea angiofluorografiei. Dacă gradul opacifierii capsulare este ridicat şi împiedică vizualizarea fundului de ochi se poate recomanda efectuarea unei ecografii oculare de tip B scan [19,20].
  - Se va explica pacientului natura şi necesitatea procedurii, lipsa durerii şi efectuarea în ambulator, că va auzi nişte pocnete
  - Necesitatea fixării globului ocular într-un punct fix;
  - Semnarea consimţământului informat pentru procedură.
  - Se va instila midriatic pentru dilatarea pupilei;
  - Anestezia este topică cu Benoxi sau Alcainã – 1–2 picături înainte de procedură;
  - Se va instila o picătură de beta-blocant (Timolol 0,5%) pentru a preveni hipertonia oculară postlaser.

Tehnica laser Yag

- Scopul procedurii este de a crea o deschidere optică rotundă sau ovală cu un diametru de 3–4 mm în axul optic central al capsulei posterioare opacifiate.
- Pentru o siguranţă mai mare se poate pune pe ochiul pacientului o lentilă Abraham de 60 D, care oferă stabilitate oculară şi lărgeşte unghiul conului

Scanned with OKEN Scanner

razei laser producând un focus mai mic, facilitând perforarea capsulei posterioare.

- Pentru a preveni deteriorarea IOL-CP, raza laser se va focaliza în spatele capsulei posterioare, fiind adusă lent anterior până când capsula posterioară a fost perforată [18].
- Capsulotomia se poate realiza prin aplicări seriate de perforări în X, cruciate sau de tip „can opener". Se va evita remanenţa unor fragmente flotante care pot jena acuitatea vizuală.
- Se va utiliza energie minimă de 1 mJ, dar se poate creşte energia până când se perforează capsula posterioară. Se vor evidenţia şi se va tăia pe liniile de tensiune.
- La sfârşitul procedurii se instilează o picătură de corticoid şi una de betablocant.

Îngrijiri post-laser

- Timp de o săptămână după procedură pacientul trebuie să urmeze un tratament topic cu instilaţii cu corticoizi şi beta-blocante.
- Dacă pacientul prezintă un glaucom preexistent operaţiei de cataractă sau dacă la o oră de la laser, presiunea intraoculară este crescută cu mai mult de 5 mmHg, trebuie din nou măsurată la 4 ore de la laser şi următoarele luni după procedură (1–2 luni).

Rezultate

- Literatura de specialitate [6] arată o îmbunătăţire a acuităţii vizuale după laser în 83–96% a cazurilor.
- O vedere scăzută după laser denotă prezenţa unor leziuni preexistente: degenerescenţă maculară legată de vârstă, edem macular cistoid, dezlipire de retină, neuropatie optică anterioară, atrofie optică sau ambliopie.

Complicaţiile capsulotomiei YAG

Hipertensiunea intraoculară – Este cea mai frecventă complicaţie postoperatorie cu incidenţă variabilă între 15–30% a cazurilor [21,22].

- Mecanismul apariţiei acestei complicaţii ar consta în depunerea de debriuri la nivelul reţelei trabeculare [27,28] blocajului pupilar [29,30] şi a edemului inflamator al corpului ciliar sau rădăcinii irisului asociat cu închiderea unghiului camerular [31].
- Factorii favorizanţi ai creşterii pio sunt:
  - glaucomul preexistent;
  - mărimea capsulotomiei;
  - lipsa IOL-CP; prezenţa IOL-CP tinde să blocheze fluxul debriurilor celulare şi capsulare. Aceste resturi capsulare vor rămâne în spatele capsulei, împinse inferior sau să urmeze cursul normal al umorii apoase spre regiunea zonulară unde vor fi filtrate înspre camera anterioară şi trabecul.

Scanned with OKEN Scanner

- fixarea IOL-CP în sulcusul ciliar;
- energie crescută a laser-ului;
- miopie; boli vitreoretiniene preexistente.

– Profilaxia creşterii presionale postlaser este foarte importantă şi se realizează prin administrarea locală de beta blocante înainte şi după procedură. Pacienţii cu risc crescut pentru această complicaţie vor fi corect monitorizaţi după capsulotomia laser Yag, deoarece uneori terapia profilactică este suficientă pentru a împiedica creşterea tardivă a PIO.

Edemul macular cistoid

- Edemul macular cistoid (EMC) apărut după capsulotomia laser Yag este urmarea mişcărilor vitreene şi deteriorării acestuia, cu eliberarea mediatorilor inflamatori şi/sau tracţiunea vitreo-retiniană cauzată de procedură [32].
  – Lewis *et al.* [33] au observat o rată scăzută a complicaţiei dacă procedura laser a fost efectuată la 6 luni după operaţia de cataractă.
  – Ari *et al.* [34] au evaluat apariţia EMC în funcţie de cantitatea de energie folosită.
  – Concluzia studiului a fost că grosimea maculară este cu atât mai mare cu cât cantitatea de energie este mai mare.
  – Complicaţia poate apare între 3 săptămâni şi 11 luni post-laser. La pacienţii cu risc pentru EMC (retinopatie diabetică sau istoric de EMC anterior) uzul local al corticosteroizilor şi antiinflamatoriilor nesteroidiene poate fi benefic.

Dezlipirea de retină

– Se estimează că riscul dezvoltării dezlipirii de retină (DR) după laser este de 4 ori mai mare decât după apariţia complicaţiei după o chirurgie a cataractei fără complicaţii intraoperatorii.
– O serie de studii arată că riscul apariţiei DR este mai mare la cei cu degenerescenţă lattice, cu un ax mai mare de 24 mm, la cei care au prezentat intraoperator ruptura capsulei posterioare, dezlipire de retină la ochiul congener [36].
– Mecanismul de producere al DR post-laser nu este elucidat [36].
– Apariţia DR poate fi precoce sau tardiv după laser.

Deteriorarea pseudofacului

– Frecvenţa complicaţiei este între 15–33% a cazurilor [25,37,38]. Fixarea în spatele capsulei posterioare a razei beam poate preveni complicaţia.
– IOL-CP din polimetacrilat de metil „suportă" atingerile cu realizarea fracturilor radiale ale IOL. La cele din silicon, deteriorarea constă în pete mici înconjurate de irizaţii. Cele acrilice sunt Yag compatibile.

Scanned with OKEN Scanner

Endoftalmita

- Au fost citate cazuri cu endoftalmită cu Propionil bacterium [23]. Se presupune că prin breşa de la nivelul capsulei posterioare, organismele au avut oportunitatea de a ajunge în vitros şi de a dezvolta endoftalmita.

Alte complicaţii citate după laserul Yag sunt:

- glaucom prin blocaj pupilar [24]
- găuri maculare [39]
- hemoragii retiniene [39]
- dislocarea IOL-CP în vitros [18].

BIBLIOGRAFIE

1. Charleux J, Hullo A. Extraction extracapsulaire avec implantation en chambre posterieure. Encycl. Med.Chir, 1991, Paris, 21250 C: 1–27.
2. Hollick I, Spalton DJ, Ursell PG, Pande MV (1998) Lens epithelial cell regression on the posterior capsule with different intraocular lens materials. Br J Ophthalmol 82: 1182–1188.17.
3. Oshika T, Nagata T, Ishii Y (1998) Adhesion of lens capsule to intraocular lenses of polymethylmethacrylate, silicone, and acrylic foldable materials: an experimental study. Br J Ophthalmol 82: 549–553.18.
4. Wong TT, Daniels JT, Crowston JG, Khaw PT (2004) MMP inhibition prevents human lens epithelial cell migration and contraction of the lens capsule. Br J Ophthalmol 88: 868–872.19.
5. Nixon RD.Consideration in IOL standards and design. Eurotime Sattelite Education Symposiom, Paris, 2004, 1–3.
6. Steinert RF, Puliafito CA, Kumar SR, Dudak SD, Patel S. Cystoid macular edema, retinal detachment, and glaucoma after Nd:YAG laser posterior capsulotomy. Am J Ophthalmol. 1991 Oct;112(4):373–80. PMID: 1928237.
7. Lindstrom RL, Harris WS. Management of the posterior capsule following posterior chamber lens implantation. Am Intraocular Implant Soc J, 1980,6,255.
8. Nishi *et al.* J Cataract Refract Surg 2000;26(10):1543–9.
9. Buehl W, Findl O. Effect of intraocular lens design on posterior capsule opacification. J Cataract Refract Surg 2008;34:1976–85.
10. Marcantonio *et al.*, Eye 1999;13:484–8.
11. Stanford *et al.* Br J Ophthalmol 2000; 84:332–6.
12. Chandler *et al.* Invest Ophthalmol Vis Sci 2012; 53(4):1835–45.
13. Peng *et al.* J Cataract Refract Surg 2000; 26(2):188–97.14
14. Sinha R, Shekhar H, Rasik B, Rasik V. Posterior capsular opacification: A review. Indian J of Ophthalmol.2013, 61, (7), 371–376.
15. Gimbel *et al.* J Cataract Refract Surg 1997; 23:652–56.
16. Milauskas *et al.* J Cataract Refract Surg 1987;13(6):644–8.
17. Gore VS. The study of complications of Nd:YAG laser capsulotomy. Klin Monbl Augenheilkd. 1994 May; 204(5):286–7. PMID: 8051851.
18. American Academy of Ophthalmology, Lens and Cataract, 2009.
19. Tielsch JM, Legro MW, Cassard SD, *et al.* Risk factors for retinal detachment after cataract surgery A population-based case-control study. Ophthalmology. 1996 Oct; 103(10):1537–45. PMID: 8874424.
20. Javitt JC, Tielsch JM, Canner JK, Kolb MM, Sommer A, Steinberg EP. National outcomes of cataract extraction. Increased risk of retinal complications associated with Nd:YAG laser capsulotomy. The Cataract Patient Outcomes Research Team. Ophthalmology. 1992; 99:1487–97.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 8

TRATAMENTUL LASER ÎN BOALA GLAUCOMATOASĂ

CRISTINA NICULA, PATRICIA NICULA

- Glaucomul reprezintă o cauză importantă de cecitate la nivel mondial alături de degenescenţa maculară şi retinopatia diabetică [1].
- Glaucomul are o evoluție progresivă cu creșterea PIO care realizează deteriorarea insidioasă funcțională oculară cu scăderea/pierderea vederii și a câmpului vizual.
- Există trei metode terapeutice pentru scăderea tensiunii intraoculare crescute în glaucom: tratamentul medical, tratamentul laser și tratamentul chirurgical unic sau asociat, în funcție de tipul de glaucom, stadiul de evoluție al glaucomului.
- Tratamentul laser are ca obiectiv scăderea PIO prin favorizarea evacuării UA.
- **Terapia laser în boala glaucomatoasă a uşurat tratamentul bolii, fiind utilizată de rutină în asociere cu terapia medicamentoasă sau ca tratament tranzitor spre cel chirurgical.**
  - Uneori, pacienţilor necomplianţi la tratamentul medicamentos li se poate recomanda procedura laser ca primă intenție terapeutică.
- **Tratamentul laser NU suprimă glaucomul, NU ameliorează AV, leziunile în glaucom sunt ireversibile.**
- Cea mai frecventă procedură folosită pentru glaucomul cu unghi închis este iridotomia periferică laser cu laserul Yag-Neodinium (LPI).
- Alte proceduri folosite în practica curentă sunt laser trabeculoplastia, iridoplastia, ciclofotocoagularea cu laser-ul diodă, endociclofotocoagularea, remodelarea bulei de filtrare cu laser-ul, sinechioliza iridolenticulară şi hialoidotomia laser Yag.

Iridotomia periferică laser

Principii de tratament

- Glaucomul primar cu unghi închis (GPUI) reprezintă o cauză importantă de cecitate, comparativ cu glaucomul primar cu unghi deschis (GPUD) [2,3]. Cea mai folosită metodă laser pentru GPUI este iridotomia laser Yag.
  - Această terapie se poate aplica în cazul suspiciunii de GPUI [4].

Scanned with OKEN Scanner

- Iridotomia laser scade PIO la caucazieni, fiind eficientă în degajarea presională [8,9].
- **Iridotomia periferică laser este un tratament de primă intenție în glaucomul cu unghi închis (depistat la gonioscopie) și poate fi profilactică sau terapeutică.**
- Intervenția nu lasă cicatrice și NU necesită supraveghere prelungită post-manevră terapeutică.

Indicații

- **Iridectomia periferică laser (IP) în scop profilactic:**
  - suspecții de GPUI care:
    - nu respectă orarul vizitelor de control
    - necesită dilatare frecventă a pupilei
    - au avut la ochiul congener închiderea acută a unghiului
    - au istoric de GPUI.
  - Pacienți cu risc crescut de închidere a unghiului camerular [5–7]
  - în cazurile în care există riscul de dezvoltare a GPUI, iridotomia poate scădea incidența atacurilor acute;
  - blocajul pupilar este o cauză importantă în apariția GPUI [5–7]
    - în globii oculari cu unghi îngust și cristalin de volum mai mare, chiar în prezența unei iridotomii periferice, pacienții vor avea un unghi îngust [10].
- **Iridectomia periferică în scop terapeutic** poate fi efectuată pentru a rezolva un atac acut de închidere a unghiului camerular și a scădea PIO în ochii cu iris bombe secundar închiderii unghiului.

Contraindicații

- glaucomul neovascular deoarece poate apare sângerare în cazul prezenței neovaselor iriene;
- glaucom prin închiderea unghiului secundar unui mecanism non-pupilar (cristalinian sau prin medicație antipsihotică) unde cauza închiderii unghiului este edemul coroidian sau efuzia coroidiană și nu blocul pupilar [11].

Pregătirea pacientului

- Înainte de realizarea procedurii este necesar explicarea necesității acesteia, a posibilelor complicații și a necesității repetării procedurii în cazul în care PIO nu scade suficient ca să împiedice deteriorări suplimentare ale fibrelor nervoase.
- În cazul tratamentului anticoagulant asociat, acesta trebuie stopat datorită riscului sângerării în timpul și după procedură.

Tehnica

- PIO trebuie să fie bine controlată înainte de procedură prin tratament local sau și general (Acetazolamidă)

Scanned with OKEN Scanner

- înainte de realizarea IP se va instila o picătură de Pilocarpină 2% în ochiul vizat, cu 15 minute înainte de procedură. Dacă nu se obține mioza dorită se mai poate instila Pilocarpină 2%
- se instilează o picătură de anestezic (Benoxi)
- se așază pacientul la biomicroscop
- se pune pe ochiul de tratat lentila Abraham de 66 D, umplută cu gel și care prin mărirea imaginii va oferi o vizibilitate bună IP, o stabilitate mai bună a ochiului, neutralizarea suprafeței corneei și abordarea regiunii periferice a irisului pentru o concentrație mai bună a laser-ului.
- **IP se plasează superior în aria de iris acoperită de pleoapa superioară, unde irisul apare subțire sau o criptă este vizibilă.**
- se reglează energia laser-ului la 3–9 mJ.
  - pentru realizarea unei iridotomii complete se pun 2–4 impacte laser.
  - creșterea energiei laser-ului poate genera lezarea cristalinului prin plasma eliminată sau chiar subluxația acestuia.
  - o energie prea mică a laser-ului va irita doar suprafața anterioară a irisului, cu eliberare de pigment și împiedicarea vizualizării iriene.

- **Semnul că IP este perforantă este adâncirea camerei anterioare.**
- În cazul unui iris cu grosime mai mare se poate folosi un tratament laser Argon, înainte de IP cu laser-ul Yag.
  - Se setează laser-ul cu Argon la 500 mW, cu o creștere secvențială până la 1000 mJ, cu o mărime a spotului de 50 μm, pentru un timp de 0,1–0,3 s.
  - Când irisul este suficient de subțire se acționează cu laserul Yag în stroma iriană, începând cu o energie de 2–4 mJ, cu creșterea progresivă a ei până la 6–10 mJ până la obținerea unei găuri perforante [12].
  - **Se consideră că dimensiunea unei iridotomii perferice pentru a preveni închiderea acută a unghiului camerular trebuie să fie de 150–200 μm.**
  - Chiar și în prezența unei iridotomii patente s-au citat cazuri de **închiderea** acută a unghiului camerular după dilatarea pupilei, probabil prin rularea rădăcinii irisului peste unghi [13].

Complicații

- Efecte adverse [14,15] după IP: ceața tranzitorie, diplopia, imagini fantomatice mai ales la ochii cu suspiciune de unghi camerular cu potențial de închidere și la care IP s-a realizat în scop profilactic.
- Riscul decompensării corneene [16,17]; au fost citate cazuri chiar și la 8 ani după efectuarea IP.
  - factori cauzali ai decompensării corneene sunt: traumatismul direct focal, efectul termic al laserului, unde de șoc mecanic, creșterea tranzitorie a PIO, dispersie pigmentară, turbulența circulației umorii apoase (UA), factorul inflamator și ruperea barierei sânge-umor apos.
- Incidența complicației diferă în funcție de rasă: la caucazieni pe o perioadă de 10 ani complicația a fost prezentă într-un procent de 0,4–0,5%/an, pe când la chinezi s-a estimat un procent de 0,3%/an [18,19].
- Creșterea PIO după IP

Scanned with OKEN Scanner

- vârful creşterii pio este la aproximativ 4–5 ore după IP, de aceea trebuie măsurată la acest interval după procedură [19].

– Cataracta este o altă posibilă complicaţie după IP cu incidenţă a complicaţiei de 23,3% [8]. Există şi studii contradictorii care susţin că nu există o diferenţă semnificativă în progresia cataractei între cei la care s-a efectuat IP şi grupul de control [20].
– Luxaţie şi subluxaţie de cristalin după IP. Au fost raportate cazuri uni sau bilaterale de subluxaţii apărute la doi ani postIP, iar alţi autori au observat apariţia luxaţiilor de cristalin la 10 ani după IP pe ochii cu miopie forte [21–23]. Această complicaţie apare de regulă pe ochii cu factori predispozanţi.
– Sângerare moderată în timpul efectuării IP, care poate fi controlată exercitând o mică presiune pe globul ocular.
  - în cazul în care este tulburată vizibilitatea se va trece la efectuarea unei IP în alt cadran sau va fi amânată pe altă dată.

Rezultatele pe termen lung

- Pe termen lung controlul presional în ochii cu GPUI este legat de prezenţa sinechiilor anterioare.
  - în cazurile în care ele au fost prezente pe două cadrane, controlul pio s-a realizat în 89,8% a cazurilor, iar dacă au fost prezente în mai multe cadrane a fost necesară asocierea medicaţiei [24].

Laser Trabeculoplastia

- Laser Trabeculoplastia este o terapie adjuvantă în tratamentul glaucomului primar cu unghi deschis (GPUD), hipertensiunii intraoculare (HTO) sau chiar în cazul în cazul glaucomului primar cu unghi îngust.
- Scopul metodei este de a induce un efect mecanic cu lărgirea spaţiilor la nivelul reţelei trabeculare (RT), împingând înainte straturile externe ale RT, cu creşterea facilităţii la scurgere a UA [25] care permite eliminarea mai uşoară a UA din ochi.
- ***Procedura originală a fost descrisă de Wise and Witter în 1979*** [25], ***folosind laserul cu Argon.***
  – În practică, pentru această procedură se poate folosi şi laserul Kripton (lungime de undă de 647,1 sau 568,2 nm), laserul cu diodă infraroşu (810 nm), laserul Yag-Neodinium (1064 nm) sau laserul Yag-Neodinium Q-switched [26–30].
- Studiile clinice au arătat că laser trabeculoplastia cu Argon (ALT) a reuşit să scadă mai eficient pio decât la pacienţii trataţi medicamentos [31,32].
  – Pentru procedura ALT, parametrii utilizaţi sunt: lungimea de undă = 488,514 sau 532, diametrul spotului laser = 50 μm, energia = $40–70\times10^{-3}$, durata impulsului = 0,1, numărul de impulsuri aplicate = 50/180°.
  – Pentru laser trabeculoplastia selectivă parametrii folosiţi sunt: lungimea de undă = 532, diametrul spotului laser = 400 μm, energia = $0,6–1,2\times10^{-3}$, durata impulsului = 3×10^{-9}, numărul de impulsuri aplicate = 50/180°.

Scanned with OKEN Scanner

Indicații

- Cea mai frecventă indicație este GPUD sau HTO fie ca metodă adjuvantă, fie ca terapie de primă intenție, pentru pacienții necomplianți la terapia medicamentoasă antiglaucomatoasă, femeile însărcinate sau pacienții care au contraindicații pentru tratamentul chirurgical antiglaucomatos.
- Alte indicații ar fi galucoamele secundare cu unghi deschis (pseudoexfoliativ, pigmentar) sau în GPUI după realizarea IP și deschiderea unghiului camerular.
- Rezultatele scăderii PIO sunt variabile în funcție de tipul de glaucom (cu unghi deschis) și stadiul de evoluție al glaucomului.
- Contraindicații
- Contraindicațiile absolute ale trabeculoplastiei laser sunt o vizualizare inadecvată a structurilor unghiului camerular și glaucomul secundar uveitic, traumatic sau disgeneziilor de unghi.
- Contraindicațiile relative sunt reprezentate de glaucomul normotensiv, afachic sau GPUI cu sinechii iriene anterioare.

Laser terapia selectivă – SLT

- A fost introdusă în practică, în 1995 de Latina and Park [33,47] ca o procedură care selectează celulele pigmentate ale RT, respectând celulele non-pigmentate și colagenul de efectul termic colateral, prezervând integritatea structurală RT.
- SLT realizează modificarea structurală sau remodelarea trabeculului (zona de eliberare a UA).
- SLT folosește laser Yag dublat în frecvență 532 nm care țintește specific celulele pigmentale ale trabeculului, cu menținerea integrității structurale trabeculare, cu lărgirea mecanică a plasei (a ochiurilor) trabeculului și modificări biochimice locale.
- Selectarea acțiunii pe celulele pigmentate ale RT se poate obține prin folosirea pulsului cu o durată de 3 ns sau mai puțin.
- SLT folosește doar 1% din energia totală folosită de ALT.
- Parametrii folosiți de SLT sunt prea mici pentru melanină de a converti energia electromagnetică la energie termică, fără dezvoltarea căldurii.
- Mecanism de acțiune
- SLT se bazează pe conceptul de fototermoliză selectivă, care generează deteriorare termică a unor celule pigmentate selectate în cadrul unui țesut cu deteriorare tisulară adiacentă absentă [34]. Mecanismul de reducere a PIO este incomplet elucidat. Sunt autori care susțin atât pentru ALT cât și pentru SLT efectul termic, biomecanic sau celular asupra RT [34].

Indicații

- Pacienții cu hipertonie izolată sau glaucom în stadiul evolutiv
- Glaucom la debut completând tratamentul local antiglaucomatos
- Glaucom cu evoluție nefavorabilă – înainte sau după chirurgie filtrantă.

Scanned with OKEN Scanner

Tehnica SLT

- Pentru tehnica SLT se foloseşte Nd: YAG laser, Q-switched, dublat în frecvenţă, cu o lungime de undă de 532 nm, cu un diametru al spotului de 400 μm şi energia de 3 ns.
  - se instilează o picătură de anestezic (Benoxi)
  - se aşează pacientul la biomicroscop
  - se pune pe ochiul de tratat lentila Latina pentru SLT, umplută cu gel
  - laserul se focusează pe RT folosind raza helium–neon
  - se foloseşte o energie iniţială de 0,7–0,8 mJ. Energia folosită este în funcţie de gradul de pigmentare al RT.
    - Pigmentarea mai mare impune energie mai puţină. In cazurile cu RT bine pigmentată se impune o energie de 0,6 mJ.
    - Dacă apar bulele de cavitaţie, se va reduce energia laserului cu 0,1 mJ până nu se mai formează bulele şi se continuă tratamentul cu aceeaşi energie.
    - Dacă după aplicarea laserului nu apar bulele se creşte energia laserului cu 0,1 mJ până la apariţia bulelor şi apoi se scade energia.
    - Pentru un rezultat eficient se utilizează spoturi confluente. Astfel, se laserizează 360° din RT, doar în RT pigmentate se face doar pe 180° şi apoi pe restul de RT dacă este nevoie.

Rezultate SLT

- SLT este un tratament eficace în glaucom, antrenând scăderea PIO cu 20–30%
  - eficacitatea SLT diminuă în timp, de aceea pacientul necesită monitorizare permanentă a glaucomului
  - este posibilă repetarea intervenţiei dacă NU a fost suficient de eficace.
- Nagar *et al.* [54] într-un studiu prospectiv a arătat că efectele SLT comparativ cu tratamentul local cu Latanoprost 0,005% administrat o dată /zi sunt inferioare în GPUD sau HTO, pe o perioadă de 12 luni.
  - SLT pe 90° nu are aceeaşi eficienţă ca tratamentul medicamentos cu Latanoprost, dar efectuată pe 360° scade pio cu 30% sau mai mult în 60% a globilor oculari.
- Wong *et al.* [36] într-o metanaliză a comparat efectul de degajare presională între SLT şi ALT la pacienţii cu GPUD şi HTO, concluzionând că **SLT este la fel de eficientă ca ALT;** efectul în timp al ALT scade la 5 ani de la procedură [37].

Complicaţii SLT

- La 7 zile de la efectuarea SLT poate apare hiperemie conjunctivală, disconfort şi chiar un discret fenomen Tyndall, creşterea tranzitorie a pio cu 5–10 mmHg, hypemă, scăderea numărului de celule endoteliale, edem cornean şi edem macular [38].

Scanned with OKEN Scanner

Trabeculoplastia cu laserul diodă micropulsat (TLDM)

- Această procedură a fost introdusă în practică de Ingvoldstad în 2005, ca tratament pentru pacienţii cu GPUD [39].
- Parametrii folosiţi sunt: dimensiune mare a spotului, laserul cu diodă de 810 nm, care emite repetitiv, 100 de pulsuri laser în 200 ms, iar micropulsurile au 1,7 ms interval între ele. Nu generează deteriorare prin coagulare a RT [40]. Această procedură este efectuată cu aparatul *IRIS Medical Ocu Light SL* (*IRIDEX Corporation, Mountain View*, CA, USA).

Tehnica

- se aşază pacientul la biomicroscop
- se instilează o picătură de anestezic
- se pune oglinda Goldmann pe ochiul pacientului şi se focusează laserul pe RT anterioară, plasându-se 70 de impulsuri pe 180° inferior, cu o energie a spotului de 60 mJ.

Rezultate al TDLM

- Există studii care demonstrează o scădere cu 20 % a PIO la 3 luni de la procedură [39] sau după TDLM scăderea PIO a fost de 3,9 mmHg, iar după SLT de 2,6 mmHg [41]
- Alte studii arată că din contră doar 2,5% a pacienţilor au prezentat scăderi presionale de peste 20% [42]
- Acelaşi studiu relevă ineficienţa TDLM efectuată pe 180° la pacienţii cu GPUD.
- Nu sunt raportate în literatură complicaţii după TDLM.

Laser trabeculoplastia în glaucoamele secundare

- Există câteva studii care arată eficienţa şi siguranţa SLT în tratamentul glaucoamelor secundare: în glaucomul cortisonic, în 46,7% s-a obţinut o scădere a pio < 22 mmHg la 1 an de la efectuarea procedurii [43,44].

Iridoplastia periferică laser – IPL

- Iridoplastia periferică laser realizează retracţia periferică a irisului după contracţia stromei cu ajutorul pentru deschiderea unghiului irido-cornean.
- Principiul iridoplastiei periferice laser (IPL) este de a pune impulsuri laser de energie joasă la nivelul periferiei iriene pentru a lărgi unghiul camerular sau a rupe sinechiile iriene anterioare.
  - Metoda a fost introdusă de Krasnov [45] pentru a separa irisul de RT, dar parametrii utilizaţi au generat arsuri importante ale irisului, generând o insuficientă retracţie a irisului din RT.
  - Ulterior, Kimbrough *et al.* [46] au descris o tehnică, folosind un gonioscop, metoda fiind numită gonioplastie.
- IPL cu Argon este o metodă utilă în cazurile cu unghi camerular închis, unde nu poate fi efectuată iridotomia periferică laser.

Scanned with OKEN Scanner

- Constă din aplicarea impulsurilor de laser la nivelul periferiei iriene pentru contracţia stromei la nivelul locului arderii, având ca rezultat deschiderea unghiului.

Indicaţii

Cea mai importantă indicaţie pentru iridoplastia periferică laser este închiderea acută a unghiului camerular, chiar şi când există o iridotomie periferică patentă, în irisul în platou sau în glaucomul secundar acut facomorfic [47,48].

Contraindicaţii

Procedura nu poate fi efectuată în lipsa vizibilităţii datorită edemului cornean sau a unei CA cu adâncime mică.

Tehnica

- se instilează o picătură de Pilocarpină 2% pentru a realiza o mioză maximă
- se instilează o picătură de anestezic local
- se pune lentila Abraham şi se pune raza laser (dimensiunea spotului de 500 μm, cu o durată de 0,5–0,7 s) perpendicular pe periferia iriană. Se pun cam 24 de spoturi pe 360°.

Complicaţii post procedură:

- irită uşoară
- arsuri ale endoteliului cornean
- atrofie iriană [49]
- au fost descrise şi cazuri de sindrom Urrets-Zavalia [50].

Rezultate

- Cele mai bune rezultate s-au obţinut în sindromul de iris în platou, unde în 86% a cazurilor unghiul camerular a rămas deschis pe o perioadă lungă de timp.
- Alte studii arată că în glaucoamele acute iridoplastia periferică laser nu a avut rezultatele scontate, ba mai mult s-a soldat cu eşec în comparaţie cu terapia medicamentoasă [51].

Ciclofotocoagularea laser

- Procedeele de ciclodistrucţie au fost folosite încă din 1930 pentru tratamentul glaucoamelor refractare.
- Prin progresele tehnicilor, această procedură s-a dovedit că poate fi aplicată si la pacienţii cu glaucom şi vedere bună, fiind recomandată chiar şi la pacienţii pediatrici cu glaucom.
- Se utilizează diferite tipuri de lasere: Nd:YAG, argon, krypton şi dioda.
- Beckman *et al.* [52] a fost primul care a descris ciclofotocoagularea transclerală.

Indicaţii

- glaucoamele refractare ca cel neovascular, postkeratoplastie perforantă, postraumatic sau după chirurgia vitro-retiniană cu ulei de silicon [53].

Scanned with OKEN Scanner

Mecanism de acţiune

- S-au descris în literatură diferite mecanisme de acţiune ale acestei proceduri care generează scăderea producţiei de umor apos, ca distrucţia epiteliului ciliar, a vaselor ciliare, ischemia corpului ciliar, inflamaţia oculară şi creşterea circulaţiei uveo-sclerale.

Ciclofotocoagularea transscleralã

În prezent se foloseşte mai frecvent laserul cu diodă decât laserul Nd:YAG pentru ciclofotocoagulare [54].

Tehnica

- se efectuează anestezia parabulbară/generală pentru copii
- se foloseşte laserul cu diodă de 810 nm, a cărui sondă se pune la 1,2 mm în spatele limbului
- se menţine puterea între 1 500–2 000 mW, cu o durată de 2 s
- se pun aproximativ 18–20 spoturi de laser pe360° şi 10–12 pe 180° [55].
- după procedură pacientul va urma un tratament local cu antibiotic şi steroid.
- medicaţia antiglaucomatoasă se va folosi mai departe în funcţie de valoarea PIO
- controlul postprocedură se va efectua la 24 de ore, 1 săptămână şi la 1 lună.

Complicaţii

- În perioada postoperatorie poate apare durerea oculară, iridociclita, creşteri tranzitorii ale PIO, edem cornean, hipotonia oculară [56].

Endo Cyclofotocoagularea (ECP)

- A fost descrisă pentru prima dată de Norris and Cleasby [57].
- Unitatea de ECP are patru componente laserul cu diodă 810 nm, o sursă de lumină de Xenon 175 W, o rază beam He-Ne şi un video monitor cu înregistrare.

Indicaţii

- Indicaţiile sunt similare cu cele ale ciclofotocoagulării transclerale, dar este mai des folosită în glaucoamele după chirurgia vitreo-retiniană, glaucomul neovascular, postraumatică sau la sfârşitul operaţiei de cataractă în GPUD subcompensat medicamentos [58,59].

Tehnica

- ECP cu abord limbic se poate efectua în ochii faci, afaci sau pseudofaci. De regulă se aplică în operaţia combinată de cataractă-glaucom şi poate fi asociată şi cu chirurgia minim invazivă a glaucomului [59].
- La sfârşitul operaţiei de cataractă se pătrunde cu sonda la nivelul proceselor ciliare şi se aplică impulsuri până la albirea zonei. Se poate face pe 180° sau 360°.

Scanned with OKEN Scanner

Hialodotomia Laser

– Se recomandă în cazurile de glaucom malign în ochii faci sau afaci. Se foloseşte laserul Nd:YAG (energie de 2–3 mJ) pentru a rupe capsula posterioară intactă şi hialoida anterioară, stabilind o comunicare între umoarea apoasă şi vitros [60].

BIBLIOGRAFIE

1. WHO. Global Data on Visual Impairments 2010 (WHO/NMH/PBD/12.01) Geneva: World Health Organization; 2012.
2. Tham YC, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: A systematic review and meta-analysis. Ophthalmology. 2014; 121:2081–90.
3. Day AC, Baio G, Gazzard G, Bunce C, Azuara-Blanco A, Munoz B, *et al.* The prevalence of primary angle closure glaucoma in European derived populations: A systematic review. Br J Ophthalmol. 2012; 96:1162–7
4. Ronnie G, Ve RS, Velumuri L, Asokan R, Vijaya L. Importance of population-based studies in clinical practice. Indian J Ophthalmol. 2011;59(Suppl): S11–8.
5. Foster PJ, Baasanhu J, Alsbirk PH, Munkhbayar D, Uranchimeg D, Johnson GJ. Glaucoma in Mongolia. A population-based survey in Hovsgol province, northern Mongolia. Arch Ophthalmol. 1996; 114:1235–41.
6. Foster PJ, Baasanhu J, Alsbirk PH, Munkhbayar D, Uranchimeg D, Johnson GJ. Central corneal thickness and intraocular pressure in a Mongolian population. Ophthalmology. 1998; 105:969–73.
7. Foster PJ, Devereux JG, Alsbirk PH, Lee PS, Uranchimeg D, Machin D, *et al.* Detection of gonioscopically occludable angles and primary angle closure glaucoma by estimation of limbal chamber depth in Asians: Modified grading scheme. Br J Ophthalmol. 2000; 84:186–92.
8. Lim LS, Husain R, Gazzard G, Seah SK, Aung T. Cataract progression after prophylactic laser peripheral iridotomy: Potential implications for the prevention of glaucoma blindness. *Ophthalmology.* 2005; 112:1355–9.
9. Nolan WP, Foster PJ, Devereux JG, Uranchimeg D, Johnson GJ, Baasanhu J. YAG laser iridotomy treatment for primary angle closure in east Asian eyes. *Br J Ophthalmol.* 2000; 84:1255–9.
10. Sihota R, Rishi K, Srinivasan G, Gupta V, Dada T, Singh K. Functional evaluation of an iridotomy in primary angle closure eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2016; 254:1141
11. Rajjoub LZ, Chadha N, Belyea DA. Intermittent acute angle closure glaucoma and chronic angle closure following topiramate use with plateau iris configuration. *Clin Ophthalmol.* 2014; 8:1351–
12. Kumar H, Sood NN, Kalra VK. Evaluation of Argon pre-treatment for mode locked Nd- YAG laser peripheral iridotomy in angle closure glaucoma. *Glaucoma.* 1990; 12:126.
13. Fleck BW. How large must an iridotomy be? *Br J Ophthalmol.* 1990; 74:583–8.
14. Chung RS, Guan AE. Unusual visual disturbance following laser peripheral iridotomy for intermittent angle closure glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006; 244:532–3.
15. Murphy PH, Trope GE. Monocular blurring. A complication of YAG laser iridotomy. *Ophthalmology.* 1991; 98:1539–42.
16. Jamali H, Jahanian S, Gharebaghi R. Effects of laser peripheral iridotomy on corneal endothelial cell density and cell morphology in primary angle closure suspect subjects. *J Ophthalmic Vis Res.* 2016; 11:258–62.
17. Canning CR, Capon MR, Sherrard ES, Kerr Muir MG, Pearson R, Cooling RJ. Neodymium: YAG laser iridotomies – Short-term comparison with capsulotomies and long-term follow-up. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1988; 226:49–54.
18. Rao Rao SK, Ranjan
19. Bourne WM, Nelson LR, Hodge DO. Central corneal endothelial cell changes over a ten-year period. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997; 38:779–82.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 9

PATOLOGIE RETINIANĂ CU INDICAŢII DE TRATAMENT FOTOCOAGULATOR LASER

MARIETA DUMITRACHE

Tratamentul fotocoagulator LASER al retinei, coroidei şi vitrosului este foarte important în unele boli grave ale FO în: retinopatia diabetică neproliferativă şi proliferativă, edemul macular diabetic, obstrucţia vasculară retiniană, DMLV (exudativă), corioretinita seroasă centrală, tumori, vasculopatia polipoidă coroidiană, găuri retiniene, DR

- tratamentul fotocoagulator laser în patologia oculară (predominant retiniană) este indicat când alte tratamente au efecte minime sau tratamentul LASER se asociază tratamentului medicamentos pentru a creşte eficienţa terapeutică (uneori eficacitatea tratamentului farmacologic antiVEGF poate depăşi efectele fotocoagulării LASER).

- Tratamentul LASER este puţin invaziv, relativ ieftin, necesită control periodic standardizat, nu are efecte secundare sistemice (AVC), dar rar poate avea efecte secundare locale, frecvent minime sau absente.
  - fotocoagularea LASER, retiniană este un tratament precis, limitat şi reproductibil
  - lungimea de undă folosită pentru fotocoagularea retiniană cuprinde ansamblul spectrului vizibil (400–750NM) şi o parte a spectrului infraroşu (750–800NM)

FOTOCOAGULAREA CONVENŢIONALĂ (CLASICĂ) – FCC – ÎN EMISIE CONTINUĂ

Fotocoagularea convenţională cu aplicaţii LASER în emisie continuă (folosită din 1961) produce coagularea ţesuturilor prin transformarea energiei luminoase aplicate pe retină în energie termică care provoacă creşterea temperaturii locale cu denaturarea proteinelor şi necroză de coagulare

- creşterea de temperatură cu 10–20 grade este suficientă pentru FC (efectul devine predominant la 60°–70°)

Scanned with OKEN Scanner

  - lumina este absorbită de țesuturile care conțin pigmenți: melanină, xantofil, hemoglobină.
  - aplicațiile LASER sunt asociate cu efectul termic al radiației LASER, care produce arsuri controlate la nivelul retinei.
- **Parametrii LASERULUI: lungime de undă, putere, dimensiunea spotului, durata pulsului pot fi modificați pentru efect terapeutic maxim și pentru a reduce efectele secundare ale LASERULUI, pentru a îmbunătăți rezultatul postoperator.**
- Tehnologia LASER este diferențiată în funcție de:
  - lungime de undă: LASER argon verde/albastru, argon verde, LASERI roșu, galben: care influențează efectul terapeutic după tipul de boală oculară și evoluția ei.
  - tratamentul LASER convențional poate produce efecte secundare: cicatrici retiniene, fibroză subretiniană, scăderea AV periferice, scăderea vederii nocturne, reducerea sensibilității de contrast [33].
- **Emisia radiației LASER în FC este emisie în regim continuu în care fluxul de fotoni este constant și durează peste 250 ms.**

TRATAMENTUL FOTOCOAGULATOR LASER „SUBTHRESHOLD"

- Tratamentul fotocoagulator LASER „subthreshold" sub prag este o alternativă la tratamentul LASER convențional cu undă continuă, care îmbunătățește interacțiunea laser/țesut.
- Tratamentul LASER sub prag, sublimal micropulsat este indicat în tratamentul edemului macular diabetic, OVR, CRSC, DMLV exudativă.
- Efectul terapeutic al LASERULUI cu micropuls sub prag NU este însoțit de deteriorarea termică a retinei, element clinic foarte important în tratamentul leziunilor localizate lângă fovee.

TRATAMENTUL LASER MULTISPOT

- **Laserul multispot** este reprezentat de emisii LASER uniforme, simultane, în care printr-o singură apăsare pe pedală sunt emise spoturi multiple, variabile ca mărime, cu distanță controlată între spoturi.

Scanned with OKEN Scanner

TRATAMENTUL CU LASER NAVIGAT – SISTEMUL NAVILAS

Sistemul Navilas este un sistem LASER care permite selectarea zonelor retiniene care necesită tratament fotocoagulator LASER; după acumularea imaginilor stabilește un plan de tratament care se suprapune pe imaginea retiniană în timpul tratamentului.

Sistemul Navilas oferă automat emisia LASER în zonele preselectate în timp ce urmărirea ochilor cu „eye tracking" asigură plasarea exactă a punctelor de fotocoagulare laser.

Este o metodă sigură de mare eficacitate terapeutică.

TRATAMENTUL LASER FOTOCOAGULATOR PASCAL

- folosește LASER cu lungime de undă 532 nm prin aplicarea unui pattern simultan de mai multe spoturi care reduc semnificativ timpul de tratament și durerea percepută de pacient.
- în acest tip de laser există reducere a duratei pulsului la 10–30 ms, prin care se realizează leziuni retiniene de dimensiune scăzută (sau absența lor)
- oferă control precis, siguranță și eficiență tratamentului LASER, oferind concomitent confort maxim pacientului
- în FC panretiniană – PFC completă se aplică 2500 de impulsuri pe un ochi, în două ședințe de tratament cu stimuli 20–30 ms, dimensiune spot 200 μm, spațiu 0,75–1 spot.
- induce modificări tranzitorii după tratament, menținând AV stabilă, după PFC, nu modifică perfuzia maculară față de FCC, care induce modificări tisulare importante (arsură retiniană), cu scăderea AV, uneori, dacă afectează macula.
- produce leziuni minime sau absente la nivelul retinei, prin expunere LASER mai scurtă, cu focusarea laser pe epiteliul pigmentar retinian (EPR) și nu pe fotoreceptori, cu reducerea citochinelor inflamatorii IL_6, MCP_1 și VEGF.
- **această tehnologie LASER este eficientă în fotocoagularea grid macular și panfotocoagulare retiniană rapidă.**
- are efect terapeutic prelungit, necesită control OCT al edemului macular, perimetrie, ERG multifocal, sensibilitate de contrast.

RETINOPATIA DIABETICĂ

Retinopatia diabetică – RD – este principala complicație a diabetului zaharat și este una din principalele cauze de orbire la adulții între 20–50 ani. RD este mai frecventă în DZ tip 2 și are evoluție diferită în cele două forme de DZ.

Scanned with OKEN Scanner

- DZ tip 1 se însoțește de RD proliferantă în 90% din cazuri după 20 ani de evoluție
- DZ tip 2 se însoțește de RD proliferantă mai rar în 20% din cazuri, dar domină maculopatia edematoasă (unul din doi bolnavi)
- RD apare după 10–15 ani de evoluție a DZ, ceea ce permite depistarea, monitorizarea și tratamentul adecvat al RD, după controale periodice FO, AFG, OCT.

Diabetul, după câțiva ani de evoluție provoacă tulburări circulatorii importante la nivelul retinei, responsabile de scăderea a AV care necesită în multe cazuri tratament fotocoagulator LASER.

Simptomele vizuale în RD sunt graduale, variabile și sunt legate de tipul și localizarea leziunilor retiniene, însoțindu-se de scăderea lentă a vederii, asociată cu amputarea de câmp vizual central/periferic prin exudate, edem, microanevrisme sau scăderea brutală a vederii în hemoragia vitreană.

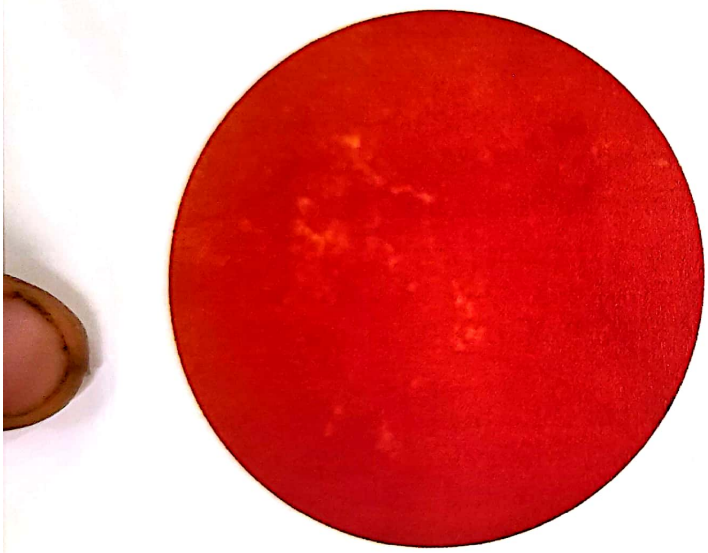


Figura 1. Exudate dure.

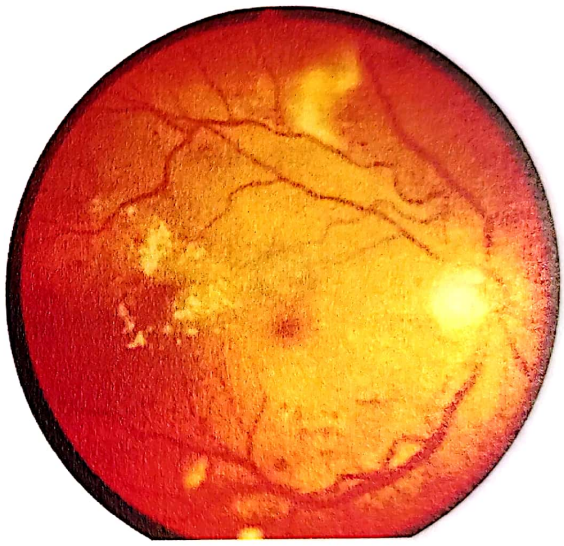


Figura 2. RD Background.

RD este o capilaropatie generată de alterări parietale cu îngroșarea membranei bazale, diminuarea (până la dispariție) a pericitelor (responsabile de tonusul vascular capilar) asociată cu hiperagregabilitate plachetară, ocluzii capilare și rupturi ale barierei hematooculare care antrenează hipoxie retiniană extinsă, cu: capilaropatie ischemică cu retinopatie proliferantă și neovase preretiniene și intravitreene

- capilarele neoformate antrenează hemoragii recidivante cu: retracția și decolarea vitrosului, ruptura limitantei interne, proliferare glială secundară
- ruptura barierei hemato-oculare este precoce și reversibilă la început (dependența de glicemie), devine permanentă în timp, cu agravarea hipoxiei și dezvoltarea capilaropatiei edematoase [8].

Capilaropatie edematoasă predomină în partea posterioară și centrală a retinei producând edem macular cronic cu scădere importantă a vederii.

Scanned with OKEN Scanner

Figura 3. Neovase coroidiene.

Capilaropatia ischemică se extinde progresiv în retină, teritoriile ocluzate prezentând: anomalii microvasculare intraretiniene cu: șunturi, microanevrisme, noduli cotonoși și tardiv neovascularizație proliferativă reacțională ischemică cu retinopatie diabetică proliferativă posibil complicată cu: hemoragie vitreană, DR tracțională, glaucom secundar neovascular.

Fiecare pacient diabetic cu RD trebuie urmărit periodic și supus tratamentului oftalmologic adecvat, deoarece poate pierde vederea prin complicațiile RD.

Figura 4. Neovase în RD.

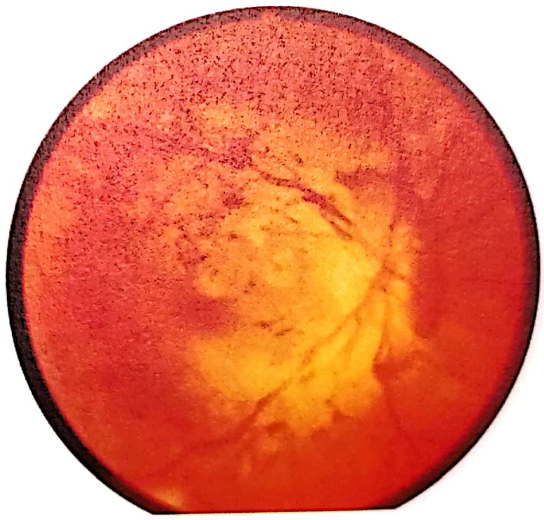


Figura 5. RD Proliferativă.

Tratamentul fotocoagulator LASER în RD generează (post-arsură) o cicatrice corioretiniană la nivelul EPR cu distrugerea zonei ischemice retiniene și reducerea capacității de proliferare neovasculară

- **FC LASER este dirijată de explorarea AFG. Laserul poate limita extensia edemului retinian, poate favoriza resorbția sa, și prin cicatrici între EP și neuroepiteliu limitează decolarea seroasă a neuroepiteliului** [1].

Scanned with OKEN Scanner

– FC laser este metoda terapeutică importantă în RD prin fotocoagularea confluentă în zonele de nonperfuzie cu ischemie secundară generatoare de proliferare.

Tratamentul FC LASER se face transpupilar cu LASER Argon verde sau Krypton roșu (când este prezentă cataracta sau hemoragia vitreană) FC LASER focal sau FC panretinian în funcție de stadiul RD.

– impactele LASER produc arsuri, care distrug zonele retiniene ischemice și inhibă procesul de neovascularizație

Indicațiile de tratament LASER în RD sunt legate de incidența, evoluția neovaselor, durata diabetului, nivelul HbA_{1c}, prezența edemului macular, stadiul retinopatiei, RDN, RDP, prezența DMLV [7].

Fotocoagularea convențională (clasică) emite unde LASER, cu diametru 500 μm, durata impulsului 50–300ms, numărul impactelor laser și al ședințelor de tratament, în funcție de regresia neovascularizației [2].

- Tratamentul fotocoagulator poate fi:
  - **FC focal sau grid** acționează asupra vaselor alterate, obturate prin proces ocluziv, iar energia LASER distruge țesutul retinian.
    - **focal** cu FC directă asupra microanevrismelor individuale sau grupate în spoturi de 50–100 μm (până la 200 μm) 0,1–0,05 s, putere 500–750 μm în număr limitat de impacte pe teritoriul ischemic, sau în edem macular semnificativ.
      - FC focală este reglată după efect vizibil cu modificarea culorii, cu albirea discretă a retinei, cu spoturi la distanță între ele de dimensiunea unui spot, cu ședințe repetate la nevoie și supraveghere clinică
    - **în grilă** cu impacte LASER de intensitate mai scăzută, la mai mult de 500 μm de centrul maculei și de marginea discului optic în spațiul interpapilo-macular.
    - grila poate fi extinsă până la 2DP de centrul maculei sau până la marginea cicatricilor de FC

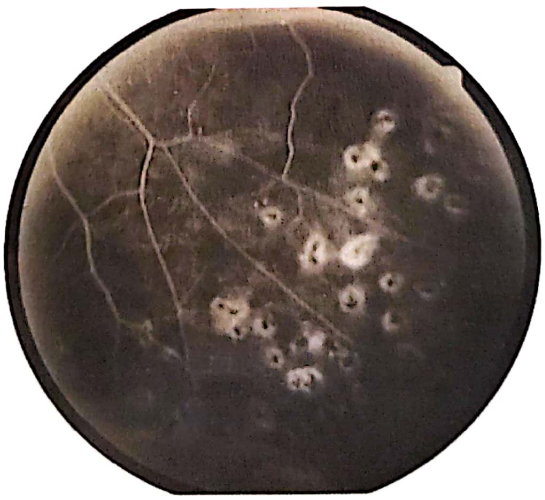


Figura 6. RD FC parțial.

Scanned with OKEN Scanner

– **Panfotocoagularea** – PFC – este FC extinsă pe toată suprafața retinei periferice, exceptând regiunea cuprinsă între arcadele vasculare temporale cu distrugerea a 20–30% din suprafața retiniană prin care se limitează dezvoltarea neovaselor [1].

Figura 7. RD Panfotocoagulare.

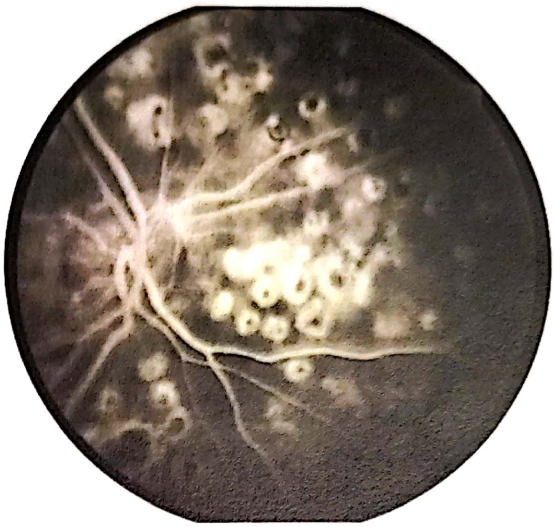


Figura 8. RD Panfotocoagulare.

Panfotocoagularea constă în emisie laser în retina periferică degradată prin ischemie; distrugerea ei prin LASER împiedică producerea de VEGF care permite apariția de vase retiniene anormale – neovase care caracterizează RD proliferativă

– neovasele sunt responsabile de complicații grave ale RD avansate: hemoragie vitreană DR tracțională, glaucom secundar neovascular.

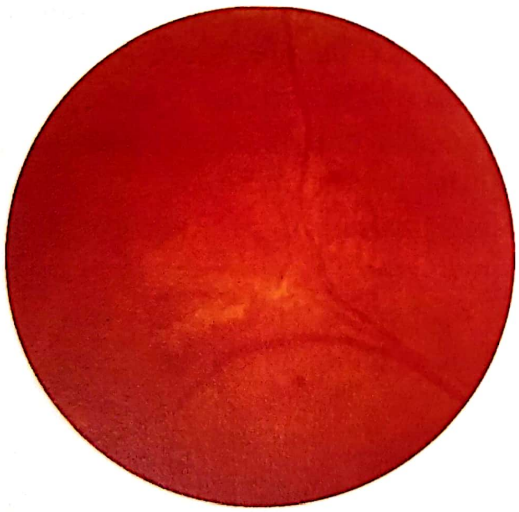


Figura 9. RD proliferativă.

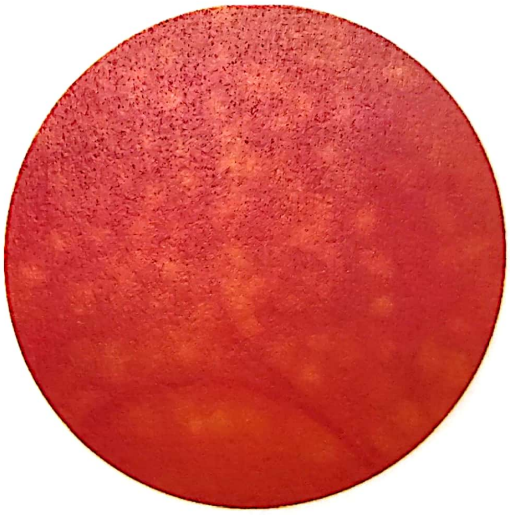


Figura 10. RD proliferativă – fotocoagulare.

Efectul major al FC LASER panretinian este distrugerea neovaselor și inhibiția secreției VEGF.

– VEGF permite apariția de vase retiniene anormale – NEOVASE – care caracterizează RD proliferativă
– Neovasele sunt responsabile de complicațiile grave ale RD: hemoragie vitreană, DR tracțională, glaucom secundar neovascular

Scanned with OKEN Scanner

- **FC distruge neovasele și inhibă secreția VEGF**
- **FCP are indicații benefice în RD neproliferativă severă și în toate stadiile de RDProliferativă.**

LASERUL NU ameliorează direct vederea, dar poate preveni degradarea ei.

- **FC panretiniană are indicații în RDNP severă și în toate stadiile RDP.**
  - PFC reduce ischemia retiniană responsabilă de producerea de factori vasoproliferativi cu regresia neovascularizației și prevenirea producerii sale.
  - PFC este indicată în: NVD mai mare de 1/3 din suprafața discului optic, NVD asociată cu hemoragie preretiniană sau vitreană, neovascularizația segmentului anterior.
  - PFC completă se face cu 1200 impacte de 500 µm (sau mai multe) separate de intervale libere de 250 µm, cu durata de 0,1 secunde, în două sau trei ședințe, evitându-se zonele de proliferare vasculară, de DR tracțională.
  - Efecte secundare ale PFC: scăderea vederii nocturne, a AV centrale, pierderea temporară a acomodației, fotopsii, agravarea edemului macular preexistent
  - **FC focală se aplică înainte de PFC**
  - Diferite tipuri de LASERE folosite în tratamentul RDP cu FC panretiniană au eficiență relativ apropiată orientată pe urmărirea scăderii AV, modificări ale calității AV, modificări CV, progresie/regresie RDP, dureri în timpul ședințelor de tratament.
  - FCP standard, extinsă, repetată poate fi efectuată cu laser uni/multispot
  - Efectele adverse în FCP pot fi prezente în tratamentul RDP cu diverse tipuri de LASER: hemoragii vitreene, detașări de coroidă, cheratopatie neurotrofică, edem macular semnificativ clinic, detașare maculară tracțională.
  - **FCP rămâne gold standard pentru tratamentul ischemiei și neovascularizației retiniene în RD, OVCR, retinopatia de prematuritate în care LASERUL are eficiență clinică dovedită**

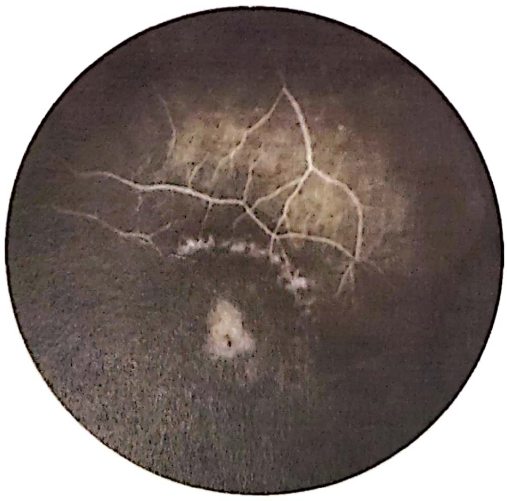


Figura 11. RD-FC localizat.

Figura 12. Sindrom triangular.

Scanned with OKEN Scanner

- **FC periferică** – în DZ cu risc crescut trebuie aplicată FC LASER în toate zonele neperfuzate sau prost perfuzate, cu tratament al periferiei retinei până la ora serata, pentru posibila dezvoltare a glaucomului neovascular, deoarece FC periferică evită neovascularizația segmentului anterior
- **FC circulară** a polului posterior în afara arcadelor vasculare
- **FC paravenoasă** pentru regresia neovaselor
- **FC maculară**

- Tratamentul RD necesită controlul și tratamentul diabetului (și al TA), stabilizarea diabetului încetinind evoluția retinopatiei diabetice.
  - Tratamentul RD se face cu injecție intravitreană cu agenți antiVEGF, tratament LASER și tratament chirurgical vitreoretinian.
  - Tratamentul LASER în RD este: tratament fotocoagulator în emisie continuă, regim subliminal (*subthreshold*) micropulsat și tehnici laser multispot: fotocoagularea LASER navigat – Navilas 577 și în sistem Pascal [9,17,3].
    - LASERUL în emisie continuă produce arsuri termice la nivel retinian.
    - LASERUL micropulsat induce fotostimulare și evită deteriorarea țesuturilor; în regim micropulsat sunt eliberate pachete foarte scurte de unde, separate de pauze, timp în care țesuturile se răcesc și și nu se mai produce necroza postaplicație LASER retinian.
    - Sistemele actuale de LASER multispot au distribuție selectabilă cu planificarea aplicației spoturilor, dirijat AFG, OCT.

TRATAMENTUL FC LASER ÎN STADIILE EVOLUTIVE ALE RD

- **Retinopatia diabetică neproliferativă – RDN severă**
  - FC LASER panretiniană poate întârzia dezvoltarea RD, proliferative – RDP
- **Retinopatia diabetică proliferativă** – afectează 2% din pacienții cu DZ tip doi, la mai puțin de 5 ani de la debut, și 25% la cei cu DZ_1 mai mult de 20 de ani [1,43,44].
  - RDP se însoțește de neovase retiniene anormale, microanevrisme, hemoragii, exudate dure, pete cotonoase.
  - Tratamentul RDP(3) este:
    - medicație anti VEGF (antivascular endotelial growth factor) intravitrean
    - implant intraocular de corticoizi – dexametazon, triamcinolon intravitrean
    - FC LASER panretinian cu 1000–4000 de impacte LASER în 3–4 ședințe aplicate pe retina periferică evitând zonele de risc (procedura este dureroasă)
    - vitrectomie la nevoie
- **Edemul macular diabetic** EMD [25,31,44]
  - **NU trebuie aplicat LASER în emisie continuă pentru leziuni sub 300–500 μ de centrul maculei [32].**

Scanned with OKEN Scanner

- **EMD fără implicare centrală – FC laser este focală continuu sau micropulsat**
- **EMD cu afectare centrală, diabet controlat, AV bună, tratament LASER focal sau grid numai cu LASER micropulsat dacă grosimea centrală a retinei este sub 350 microni.**
- Tratamentul edemului macular diabetic:
  - injecția intravitreană cu antiVEGF
  - implant intraocular cu dexametazon, intravitrean cu triamcinolon, pentru tratamentul edemului macular semnificativ clinic și/sau edem macular persistent
  - implant intraocular cu fluocinolon pentru edem macular cronic
  - FC LASER focal
  - FC LASER grilă în EMD, cu nonperfuzie capilară
  - Vitrectomie la nevoie, indicată pentru prezervarea și refacerea AV în hemoragie vitreană persistentă, membrană preretiniană, DR prin tracțiune, EMD refractar.

Fotocoagularea LASER Pascal multispot în undă noncontinuă în retinopatia diabetică aduce schimbări radicale a parametrilor FC convențional, cu incidență minimă a efectelor adverse în timpul și după tratamentul LASER [17,2].

- FC LASER Pascal, cu impulsuri cu durată scurtă 0,01 secunde, în secvențe rapide, unul după altul – pattern, preajustat printr-un microprocesor, controlat scan, a schimbat protocolul și a crescut performanța terapeutică cu eficiență clinică pe termen lung [15].
- Pan FC în sistemul Pascal (laser YagNd dublat în frecvență 532 nm) cu parametri mărime spot 200 μm durata pulsului 20–30 ms putere 300–1000 mv panFC în 2 ședințe cu număr spoturi total 2500–3000 [6]
- Pentru LASER convențional – spot 200 μm, durata pulsului 100 ms, putere 150 mw până la leziune alb-cenușiu în trei ședințe de tratament cu număr total spoturi 1500 [3].
- FC LASER a retinei, cu impulsuri cu durată scurtă și pattern în RD este mult mai eficientă decât FCC și mult mai bine tolerată de pacient.

Fotocoagularea LASER navigată – sistemul Navillas

- Sistemul Navilas realizează fotocoagularea retiniană printr-un sistem de urmărire a ochilor orientat spre videocameră; după acumularea imaginilor stabilește un plan de tratament care se suprapune pe imaginea retiniană în timpul tratamentului. Sistemul Navilas este un sistem LASER care permite selectarea zonelor retiniene care necesită tratament LASER.
  - Sistemul oferă automat livrarea LASERULUI în zonele preselectate, în timp ce urmărirea ochilor asigură plasarea exactă a laserului.
- Fotocoagularea laser cu sistem de navigație Navillas 577 este indicată în edemul macular diabetic refractar prin coagulare laser focală sau grid după examinare: AV, OCT s.d. și control, AFG, examen cu verde indocianină [22].

Scanned with OKEN Scanner

- Pacienții pot primi anterior LASERULUI tratament cu triamcinolon acetonid sau agenți antiVEGF
- FC LASER se aplică pe microanevrisme depistate la AFG sau angiografie cu verde indocianină
- Posttratament focal se poate constata ameliorarea AV, subțierea retinei și scăderea semnificativă a edemului macular
- Tratamentul LASER Navilas cu „eye tracking" are eficiență superioară tratamentului LASER convențional

- **Avantajele timpului de expunere scurt în FC LASER multispot cu undă discontinuă în noile tehnologii sunt** [2,3]:
  - tratament selectiv, efecte minime pe țesutul retinian, ceea ce limitează propagarea căldurii și nu afectează retina neurosenzorială
  - confort semnificativ pentru pacient, cu durere percepută minimă
  - reduce până la evitare completă efectele secundare la nivel celular
  - combină imagistica performantă cu tratament
- Post tratament FC LASER: AV rămâne stabilă în 70%, se ameliorează în 15% sau se poate degrada, factorii de prognostic rezervat fiind: exudate dure macular, EMC maculopatie mixtă (edematoasă și ischemică), RD severă [15].
- FC poate antrena complicații de tipul edem macular cistoid (EMC) prin agravarea unui edem macular preexistent, se poate asocia cu decolare seroasă a neuroepiteliului, neovascularizație subretiniană (posibil eroare de dozaj în FC intensă la pacient cu RD extinsă), hemoragie vitreană, decolare posterioară de vitros.

OBSTRUCȚIA VENOASĂ RETINIANĂ

Obstrucția venoasă retiniană – OVR este o afecțiune vasculară secundară unei afecțiuni sistemice: HTA, ATS, DZ, hipervâscozitate, anomalii de coagulare, vasculite, sarcoidoză, LES, insuficiență carotidiană, mai rar în tulburări hematologice, sau după o afecțiune oculară glaucom cu unghi deschis, care se poate însoți de complicații grave cu hemoragie vitreană, glaucom neovascular, retinită proliferantă.

Obstrucția venoasă retiniană poate afecta vena centrală a retinei – OVCR – sau una din ramurile venoase.

OVCR afectează patul capilar sub două forme: capilaropatie edematoasă nonischemică 70% și capilaropatie ischemică 30% responsabilă de nonperfuzie

Capilaropatia edematoasă nonischemică este forma cea mai frecventă de OVCR – 70% cu o bună perfuzie cu AV mai mare de 1/10 cu hemoragii în flacără în structurile superficiale ale retinei, exudate cotonoase rare, cu evoluție în general favorabilă în 3–6 luni; rar se poate complica cu edem macular cu afectarea vederii

Scanned with OKEN Scanner

- complicațiile legate de capilaropatie edematoasă sunt retinopatia exudativă și edem macular cistoid.
- tratamentul formei non-ischemice a OVCR este tratamentul medical (anticoagulante, fibrinolitice, triamcinolon), tratamentul bolilor sistemice sau oculare cauzatoare, monitorizarea periodică a bolii până la 18 luni după debut.
- **forma nonischemică poate deveni cu timpul ischemică și atunci necesită FC laser.**

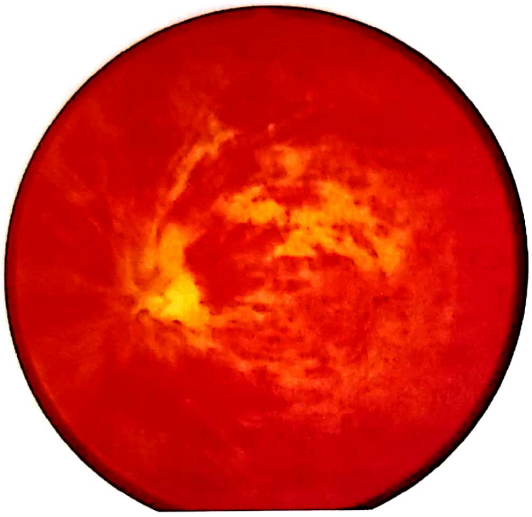


Figura 13. Tromboza venă centrală a retinei.

Figura 14. Obstrucție de ram venos.

- **Capilaropatia ischemică** (nonperfuzată) este mai rară, cu debut cu scădere importantă a vederii, DPA absolut, deficite campimetrice cu semne oftalmoscopice similare ca în forma edematoasă (hemoragii numeroase, dense, în flacără, vene neregulate, papila cu hemoragii și exudate peripapilar), dar mai intense.
  - se complică cu neovase retiniene papilare, cu hemoragii intravitreene și decolare de retină prin tracțiune și neovase iriene, în unghiul iridocornean responsabile de glaucom secundar neovascular GNV (6 săptămâni–3 luni).
  - tulburările de la nivel macular sunt responsabile de edem microchistic care evoluează spre degenerescență maculară microchistică ireversibilă.
  - tratamentul acestei forme pe lângă tratament medical (anticoagulante, vasodilatatoare, trofice vasculare, injecții intravitreene cu triamcinolon – kenacort pentru regresia edemului macular, necesită tratament FC LASER sub forma de FC panretinian (FCP).

Complicațiile obstrucției venoase retiniene [20,31,37]

- **rubeoză iriană, cu glaucom neovascular secundar, este complicația cea mai gravă după OVCR**
  - apare în medie după 3 luni în forma cu nonperfuzie extinsă, în capilaropatia ischemică
  - OVCR trebuie monitorizată periodic pentru identificarea precoce a rubeozei iriene care trebuie tratată cu FC panretinian pentru a nu evolua la GNV

Scanned with OKEN Scanner

- **neovascularizația preretiniană și prepalilară**
  - survine dacă există nonperfuzie severă extinsă, mai mult de un cadran
  - obstrucția drenajului venos poate antrena hemoragii retiniene, edem și ischemie
  - după trei luni se poate complica cu hemoragie intravitreană, în absența decolării posterioare de vitros
  - teritoriile de ischemie capilară trebuie identificate și tratate prin FC pentru a limita riscul de neovascularizație
    - FCP permite formarea de anastomoze venoase corioretiniene și este indicată în momentul dezvoltării neovascularizației
    - tratament
      - injecția intravitreană – triamcinolon 1,4 mg
      - antiVEGF – ranibizumab 0,5 mg sau 0,3 mg
      - fotocoagulare panretiniană indicată în: neovascualarizație preretiniană sau prepapilară, prezența nonperfuziei severe în teritoriul venei ocluzate, obiectivizat AFG
  - FC LASER focal în recidivă de edem macular – nu este indicat în hemoragie retiniană, în zona maculară
  - fotocoagulare directă a microanevrismelor
- **edemul macular** se dezvoltă prin creșterea permeabilității capilare și eliberarea factorului de creștere angiogenic după OVR
  - este indicat FC LASER, grilă macular
- **edemul macular cronic este principala cauză de scădere a vederii în OVCR** și este dat de:
  - microanevrisme care pot fi identificate la angiografia cu verde indocianină
  - macroanevrisme asociate frecvent cu exudate uscate
  - indiferent de cauză, edemul macular din OVR evoluează spre degenerescența chistică a maculei

Supravegherea clinică a complicațiilor

- **esențial este supravegherea rubeozei iriene**
- complicațiile neovascularizației sunt tratate cu FC panretinian, asociată cu injecții intravitreene, antiVEGF, în OVCR și FC în sector, în obstrucția de ram (AVI)
- cercetarea macroanevrismelor prin angiografie cu verde de indocianină – AVI
- sistematic în cursul edemului macular persistent (mai mult de un an)
- tratament de primă intenție, injecție intravitreană antiVEGF și corticoizi în edem macular sau ram
- LASER macular în edem macular cistoid – EMC, post OVCR, dacă tratamentul intravitrean este insuficient
  - OCT este examen de referință în diagnostic și urmărirea edemului macular, și pentru evidențierea atrofiei maculare sechelare

Scanned with OKEN Scanner

- AFG pune în evidență întârzierea variabilă a tranzitului arteriovenos, zonele de nonperfuzie și difuzia responsabilă de edem macular
- AVI poate fi utilă în detectarea macroanevrismelor sursă de edem macular cronic

TRATAMENTUL OVCR

Forma nonischemică

- anticoagulante – nu sunt eficace
- fibrinolitice – prin injecție în artera oftalmică, dificil de aplicat, cu riscuri de complicații (nu se folosește)
- hemodiluție isovolemică în primele luni de la debutul bolii, cu scăderea vâscozității sângelui și ameliorarea circulației retiniene; poate fi eficientă
  - eficacitatea hemodiluției este controversată: hematocritul diminuat permite accelerarea fluxului sangvin și oxigenare mai bună a retinei
  - poate fi indicat în OVCR, fără ischemie periferică extinsă, la mai puțin de o lună de la debut, în absența complicațiilor
- injecție intravitreană cu triamcinolon acetonid 1–4mg – Kenacord sau implant pe bază de dexametazon 0,7mg – Ozurdex, ar reduce în multe cazuri edemul macular, dar necesită injecții repetate pe durată nedeterminată și se poate complica cu cataractă și glaucom (complicații ale corticoterapiei)
  - corticoizii diminuă permeabilitatea vasculară și scad expresia VEGF *in vitros*
  - eficiența terapeutică este rapidă, tranzitorie și necesită repetarea tratamentului
- **în toate cazurile de OVR, forma neischemică este necesară supravegherea clinică și AFG câteva luni pentru decelarea precoce a trecerii spre forma ischemică** [21].

Forma ischemică

- beneficiază parțial de tratamentul formelor nonischemice ale OVR: tratamentul medical este ineficace, hemodiluția isovolemică este puțin eficientă
- injecția intraoculară cu corticoizi
- **injecție intravitreană cu anti-VEGF este tratamentul de bază al edemului macular post OVCR, cu AV mai mică de 6/10, cu:** ranibizumab, aflibercept, bevacizumab repetat
- tratamentul fotocoagulator laser este indicat în funcție de forma clinică, evoluție și complicațiile OVR
  - FC laser constă în aplicarea fascicolului laser pe retină pentru producerea unei arsuri terapeutice într-o zonă selecționată și este indicat pentru tratamentul zonelor ischemice exudative, cu proliferare de neovase
  - FC focală poate fi utilă în câteva edeme maculare, fiind indicată în obstrucția de ram venos, cu evaluare OCT

Scanned with OKEN Scanner

- este foarte utilă în macroanevrisme în care FC directă ajută regresia lor

– FC panretiniană este indicată în neovascularizația retinei și a segmentului anterior, în zonele de nonperfuzie extinsă la AFG

– Control AFG, OCT, AVI

- **Tratamentul fotocoagulator nu restabilește vederea, dar previne GNV**
- **Tratamentul LASER trebuie precedat de injecție intravitreană cu antiVEGF** și permite regresia neovaselor și a edemului retinian

Tratamentul OVR la pacienții cu edem macular, cu afectarea foveii [31,34,43]

– injecția intraoculară antiVEGF (ranibizumab, aflibercept, bevacizumab) sau injecții intraoculare cu triamcinolon, implant de dexametazon

- sub acest tratament în 30–40% din pacienți – FC focală poate fi folosită în edem macular secundar, în obstrucția de ram venos retinian, dar este mai puțin eficace decât medicamentele antiVEGF

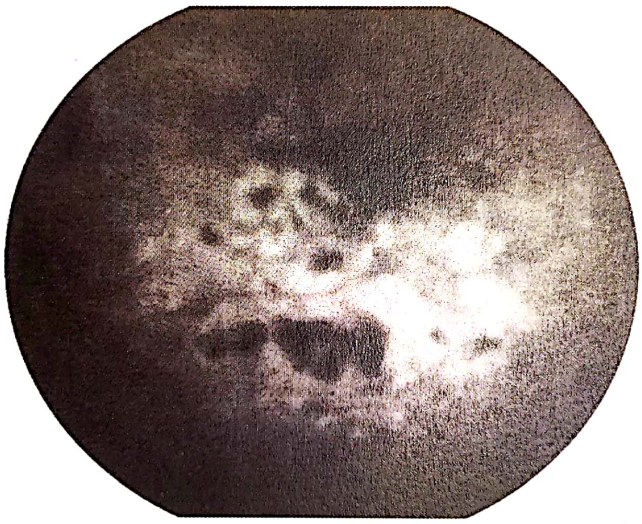


Figura 15. Ocluzie venoasă retiniană – FC.

Fotocoagularea LASER panretiniană prin care sunt distruse teritoriile ischemice, pentru a preveni dezvoltarea neovascularizației preretiniene, prepapilare și iriene în OVCR ischemică este indicată în formele ischemice majore care sunt grave și se complică rapid cu neovascularizație iriană și GNV care poate fi prevenit sistematic prin FC panretinian

– dacă există NVR sau a segementului anterior secundar OVR, FC panretiniană trebuie inițiată rapid pentru a reduce hemoragia intravitreană și a evita glaucomul neovascular.

Fotocoagularea maculară

- **FC focală** poate fi utilizată în edem macular secundar OVR, dar este mai puțin eficace decât medicația antiVEGF sau implant de dexametazon

– este indicată în obstrucția de ram venos mai recentă de trei luni, complicată cu edem macular persistent

Scanned with OKEN Scanner

- permite regresia edemului macular cistoid și stabilizarea AV și nu trebuie efectuată înainte de trei luni pentru că în multe cazuri cu EMC este posibilă regresia spontană

Tratamentul GNV dacă s-a instalat necesită de urgență FC panretinian, după scăderea PIO prin tratament hipotonizant local și acetazolamidă per os, IV sau tratament chirurgical în cazuri grave

Tratamentul obstrucției de ram venos retinian

- tratamentul factorilor de risc
- fotocoagulare sectorială pentru tratamentul ischemiei în teritoriul obstruat, pentru a preveni dezvoltarea unei hemoragii vitreene prin neovascularizație preretiniană
- fotocoagularea maculară este indicată în obstrucția de ram mai recentă de 3 luni, complicată cu edem macular persistent, cu AV mai mică de 5/10, care permite stabilizarea și ameliorarea AV

FC LASER Pascal, cu aplicarea de numeroase impacte (până la 25) în fracțiuni de secundă, cu durată mică a impulsurilor, de putere mare prin energie cumulativă, descarcă odată mai multe impacte ultrascurte [20]:

- aceste impacte antrenează o reducere a efectului termic LASER în profunzime spre coroidă și straturile interne ale retinei, inducând leziuni minime în straturile nervoase ale retinei, cu inflamație mai mică la un număr mai mare de impacte.
- grație duratei scurte a impactelor LASER, fotocoagulatorul Pascal induce efect termic nenociv, scade timpul de tratament, ameliorează confortul pacientului [11].

Prognosticul OVCR este net ameliorat prin FC LASER indicat în funcție de AFG ca tratament al complicațiilor capilaropatiei ischemice.

FC LASER în tratamentul OVCR asigură terapie profilactică a complicațiilor și poate ameliora prognosticul ocluziei venoase.

FC în OVCR este eficientă, ameliorează prognosticul, limitează complicațiile, dar trebuie aplicată și indicată cu discernământ.

DEGENERESCENȚA MACULARĂ LEGATĂ DE VÂRSTĂ – DMLV

DMLV este o afecțiune degenerativă cu evoluție cronică progresivă care afectează selectiv macula și care se asociază cu creșterea riscului de scădere/ pierdere a vederii, cu risc de cecitate invalidantă 10%.

DMLV este prima cauză de cecitate în țările dezvoltate, după vârsta de 50 de ani, prevalența bolii crescând cu vârsta 35% peste 80 ani.

- incidența DMLV continuă să crească prin creșterea duratei medii de viață
- DMLV este o afecțiune invalidantă, cu tendință de bilaterizare în 60% din cazuri în 5 ani

Scanned with OKEN Scanner

DMLV are patogenie poligenică multifactorială

- factori de risc: fumat, alimentație, obezitate, inactivitate fizică, boli cardiovasculare
- factorii de risc pot favoriza evoluția formei uscate spre forma umedă
- susceptibilitate genetică asociată cu DMLV: gena pentru factorul H, C_2, F_b al complementului, $HTRA_1$

Progresul terapeutic în DMLV este legat de injecțiile intravitreene cu antiVEGF care pot uneori să amelioreze prognosticul, dar precocitatea tratamentului este o condiție esențială pentru un prognostic vizual mai bun.

În ultimii ani, în tratamentul antiVEGF s-au identificat două medicamente noi: **Brolucizumab (Beovu)** – 2014 și **Conbercept (Lumitin)** – 2019, care după stadiul de testare preclinică și clinică și-au dovedit eficiența în tratamentul DMLV și sunt folosite pentru tratament intravitrean [23]

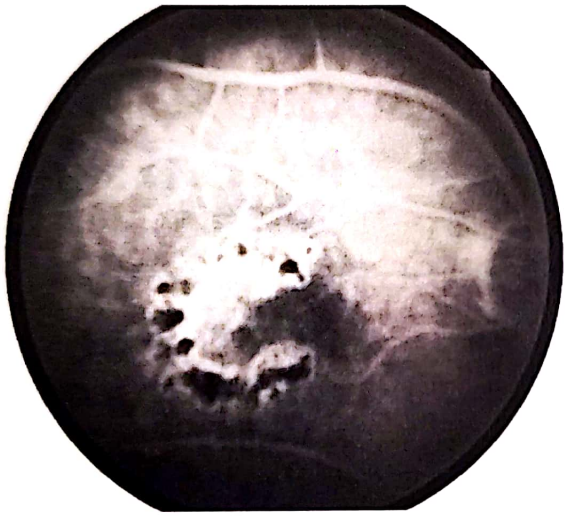


Figura 16. Pseudo gaură maculară.

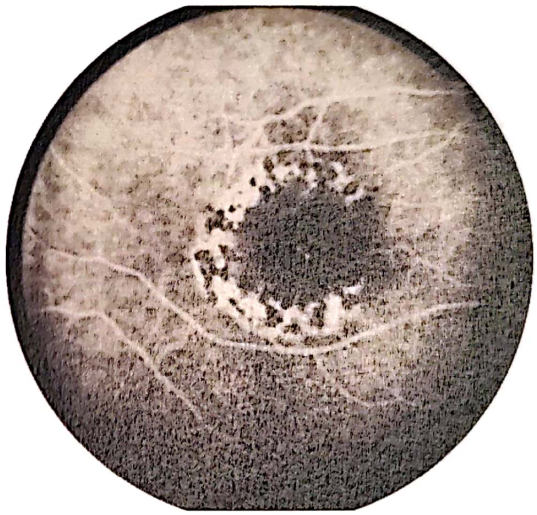


Figura 17. Degenerescența microchistică – FC.

DMLV prezintă două forme clinice:

- **DMLV atrofică** – geografică – nonexudativă – uscată – 80% este asociată cu grade diferite de drusen, modificări la nivelul EPR și atrofie, formă care este însoțită de scădere variabilă dar moderată a vederii
  - este însoțită de dispariția progresivă a celulelor EPR cu atrofia lent progresivă a fotoreceptorilor situați la nivelul maculei și coriocapilarei
  - are evoluție lentă 5–10 ani, până la pierderea vederii centrale, dar în acest timp este conservată o vedere relativ satisfăcătoare, cu dificultăți la recunoașterea detaliilor
  - simptome – inițial minore, evolutive în timp, cu:
    - scăderea vederii cu dificultăți la citit, în vederea nocturnă (are nevoie de cantitate mai mare de lumină)
    - ușoară deformare a obiectelor (linii drepte percepute ondulat)
    - scotoame (pete negre) în câmpul vizual central
    - **grila Amsler este un test de referință pentru diagnostic**
  - examenul oftalmoscopic:

Scanned with OKEN Scanner

- drusen care dispare în timp
- alterări focale ale epiteliului pigmentar macular, cu zone atrofice, cu lărgirea în timp a acestora, cu vase coroidiene care devin proeminente

– forma atrofică poate evolua către neovascularizație coroidiană cu DMLV umedă
– nu există tratament preventiv și curativ pentru această formă, dar se pot folosi metode profilactice pentru încetinirea evoluției bolii

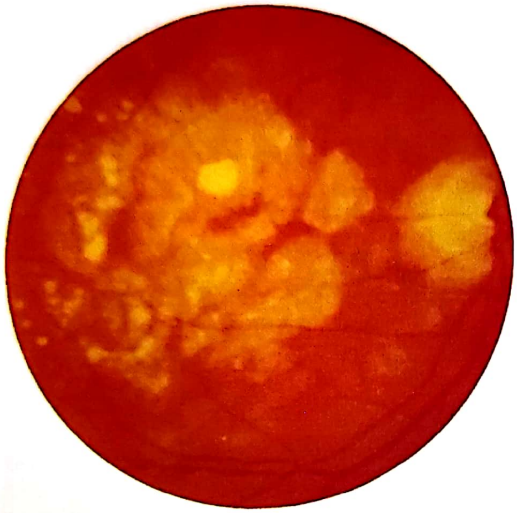


Figura 18. DMLV atrofic.

Figura 19. Drusen.

- **DMLV neovasculară** – exudativă – umedă – 20% este însoțită de hemoragii și exudate dure, lichid subretinian, decolarea EPR, neovascularizație coroidiană [31,34].
  – medicația antiangiogenică împiedică dezvoltarea neovascularizației și ameliorează evoluția bolii
  – debut relativ brusc, cu metamorfopsii și începerea vederii centrale
  – clinic
    - decolarea EPR – DEP – seroasă, fără semne de neovascularizație și fibrovasculară, determinată de neovascularizația coroidiană subiacentă
    - neovascularizația coroidiană debutează prin proliferarea coriocapilarelor care traversează membrana Bruch ; NVC sunt vase noi, anormale, pornite din coroidă, care se extind spre EPR și sunt însoțite de edem, exudație, hemoragii și deteriorarea AV centrale, prin disfuncția fotoreceptorilor

Diagnosticul clinic al DMLV necesită:
– AFG – pentru diagnostic, identificare și tratament a neovaselor clasice sau oculte, identificarea membranei neovasculare, cu localizare extra, juxta, subfoveală
– Angiografie cu verde indocianină – pentru evidențierea NVC oculte
– Tomografie în coerență optică – OCT – pentru măsurarea grosimii retinei pentru evidențierea prezenței lichidului subretinian, și cuantificarea exudației membrane neovasculare, decolarea EPR, atrofie geografică

Scanned with OKEN Scanner

– Angiografia în coerență optică – identifică 3D rețeaua sanguină retiniană și coroidiană

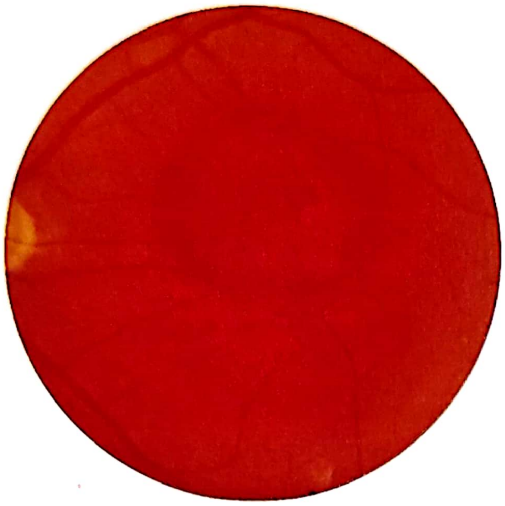


Figura 20. DMLV forma uscată.

Figura 21. DMLV disciformă.

Tratamentul DMLV, forma atrofică: nu există tratament eficient

– Măsuri igieno-dietetice:
– Reducerea factorilor de risc ar încetini progresia bolii, dar fără eficacitate dovedită
– Medicație antioxidantă: vitamină C500 mg, vitamină E400 unități, oxid de zinc 80 mg, luteină 10mg / zeaxantină 2 mg, betacaroten 15 mg (crește riscul de cancer pulmonar), vitamină A28000 unități, antioxidanți.

Tratamentul DMLV neovasculară exudativă [49]

– Suplimente nutriționale ca în forma uscată
– **Tratamentul intravitrean antiVEGF este tratamentul de referință în DMLV exudativ, VEGF** fiind principalul stimul pentru angiogeneza [28]
  • VEGF este un factor de creștere care favorizează producerea de neovase
  • Anti-VEGF inhibă (blochează) NVC, reduce creșterea neovaselor, controlează leakage, previne exudația și scăderea / pierderea AV
  • schema de tratament: trei injecții consecutive, administrate la interval de o lună, supraveghere 3–6 luni, cu reinjectare în caz de recidivă exudativă
    – supraveghere clinică după fiecare injecție
    – complicații, inflamații, infecții, DR, imagini deformate, sensibilitate la lumină
  • **medicația antiVEGF poate stabiliza sau ameliora vederea, poate produce regresie, dar nu există vindecare definitivă**
  • Medicamentele antiVEGF, omologate pentru utilizare oftalmologică: Bevacizumab (Avastin), Pegaptamib (Macugen), Ranibizumab (Lucentis), Aflibercept (Eylea)
  • Aceste medicamente inhibă proliferarea neovaselor, favorizează eliminarea lichidului subretinian cu reducerea edemului macular, modelează cicatricea fibrovasculară

Scanned with OKEN Scanner

- Tratamentul cu medicamente anti-VEGF este asociat cu reducerea semnificativă a scăderii de vedere
- **Medicamente noi antiVEGF**
  - **Brolucizumab – Beovu** – 6 mg intravitrean – este un medicament nou antiVEGF care și-a dovedit eficiența în **tratamentul DMLV**, cu rezultate încurajatoare, cu ameliorare anatomică și funcțională, prin reducerea neovascularizației coroidiene și a fluidului subretinian [23].
    - Brolucizumab este mai eficient decât Aflibercept, iar ameliolarile minime obținute sunt mai stabile, menținându-se în timp
    - Poate produce complicații sistemice: hemoragii, tromboembolii, atac ischemic tranzitor, infarct miocardic
    - Tratamentul cu Brolucizumab este indicat pe lângă DMLV în DRR, gaura maculară
  - **Conbercept – Lumitin** – 0,5 mg – este medicament anti-VEGF nou, indicat în **tratamentul DMLV** prin injecție intravitreană [29].
    - Tratamentul cu acest medicament menține beneficiile clinice ale celorlalte anti-VEGF, oferind eficacitate și siguranță terapeutică pentru tratamentul DMLV
    - Inițial medicamentul și-a dovedit eficiența în tratamentul edemului macular diabetic
  - **Tratament cu corticoizi:**
    - Triamcinolon – Kenalog – Kenacort intravitrean
    - Fluocinolon – Retisert – implant intravitrean
    - Dexametazon – Porsudex – Ozurdex intravitrean
    - Anecortav acetat – Parabulbar – Subtenonian
  - **Terapia fotodinamică**: PDT, cu verteporfina este utilizată pentru tratamentul membranei neovasculare coroidiene, subfoveală, ocultă, realizând tromboza selectivă a neovaselor printr-o reacție fotochimică, fără leziuni termice, cu menținerea perfuziei coroiocapilare [15].

Fotocoagularea laser în DMLV

- Fotocoagularea laser se bazează pe AFG, AVI, OCT
- Este indicată pentru obliterarea vaselor sanguine anormale și limitarea leziunii în regiunea maculară după localizarea exactă a membranei neovasculară coroidiană – MNVc.
- FC previne scăderile mari de acuitate vizuală și este indicată în MNVc clasice juxtafoveale și extrafoveale
  - complexul neovascular este tratat într-o manieră confluentă pentru a produce tratarea uniformă a retinei
  - FC LASER în DMLV este o soluție de rezervă în absența altor metode mai eficiente

DMLV exudativă se însoțește de poliferare a neovaselor provenind din coriocapilarele subretiniene, neovase care pot provoca leziuni severe și ireversibile secundare difuziei sângelui sau/și exudatului sub retina maculară. Riscul pierderii AV devine posibil prin proliferare fibrovasculară.

Scanned with OKEN Scanner

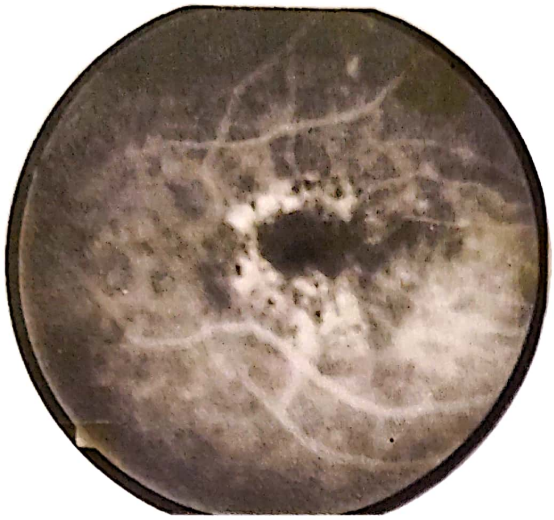


Figura 22. DMLV – FC.

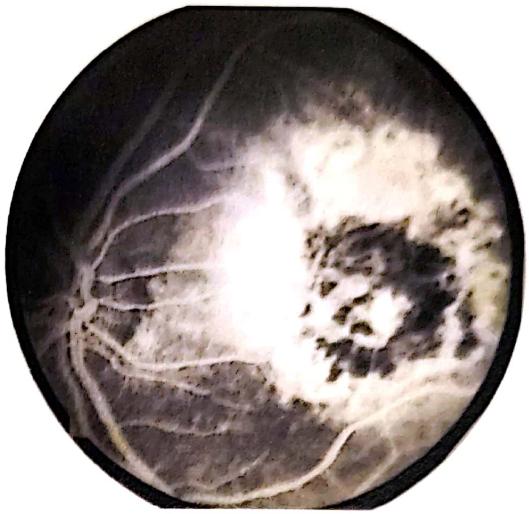


Figura 23. DMLV – FC.

FC LASER în DMLV umedă poate fi eficientă, dacă este efectuată suficient de precoce, în timp util putând genera ameliorări sau/și stabilizări ale AV [26]

Examenul AFG este foarte important pentru diagnosticul tipului de DMLV, pentru detectarea și localizarea neovaselor subretiniene în raport cu zona avasculară foveolară

- AFG este explorarea clinică în funcție de care se efectuează indicația tratamentului FC LASER.

Tratamentul **FC LASER Argon verde la** pacienții DMLV este eficient când interesează neovascularizația subretiniană, localizată extrafaveolar la 200 milimicroni sau mai mult de centrul zonei avasculare foveolare și are drept scop distrugerea NVSR (fără afectarea foveei).

FC laser în DMLV este singura modalitate terapeutică de distrugere a neovaselor, dar nu reprezintă un tratament etiologic și nu influențează apariția altor neovase subretiniene deci **nu evită recidivele [23].**

Figura 24. DMLV – FC.

Scanned with OKEN Scanner

În terapia LASER în DMLV sunt posibile complicații legate de dezlipirea hemoragică a EPR, hemoragie vitreană, cicatrice disciformă.

Scopul principal al tratamentului LASER în DMLV este acela de a preveni deteriorarea/pierderea definitivă a vederii, FC LASER putând reduce pierderea definitivă a vederii centrale la mai mult de 50% din pacienții DMLV.

DEZLIPIREA DE RETINĂ

Dezlipirea de retină – DR idiopatică sau primară este un clivaj între EP al retinei și neuroepiteliu cu acumulare de lichid care favorizează extinderea DR

- DR pornește de la o gaură sau ruptură retiniană, microchiste sau dezinserție retiniană, uneori decolare posterioară de vitros care tracționează retina.

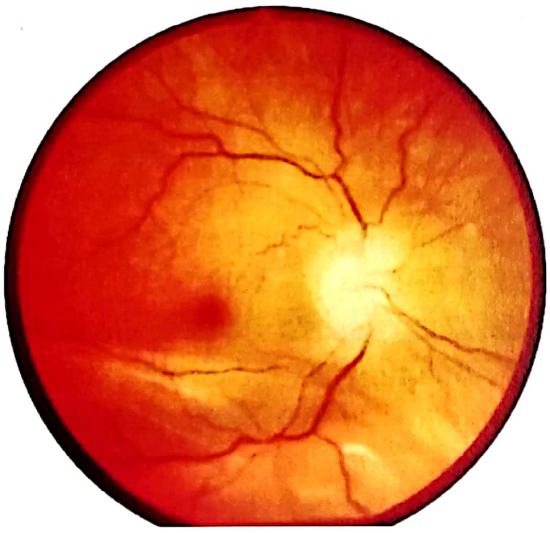


Figura 25. DR idiopatică.

DR regmatogenă – DRR este favorizată de prezența rupturilor de tip retinian (găuri retiniene) sau de tip vitrean (ruptură, dezinserții, decolare posterioară de vitros) și de patologia periferică predispozantă la DR prin leziuni degenerative periferice vitreoretiniene, intraretiniene (degenerescența microchistică, retinoschizis degenerativ, heredo degenerativ – juvenil legat de sex, Goldman Favre, Wagner) sau degenerescența straturilor externe ale retinei (degenerescența pavimentară).

DR neregmatogenă (DRN) este tracțională (retinopatie proliferantă, traumatisme) și exudativă (inflamații, tumori coroidiene, complicații PFC pentru RDP).

Scanned with OKEN Scanner

Figura 26. Ruptură retiniană.

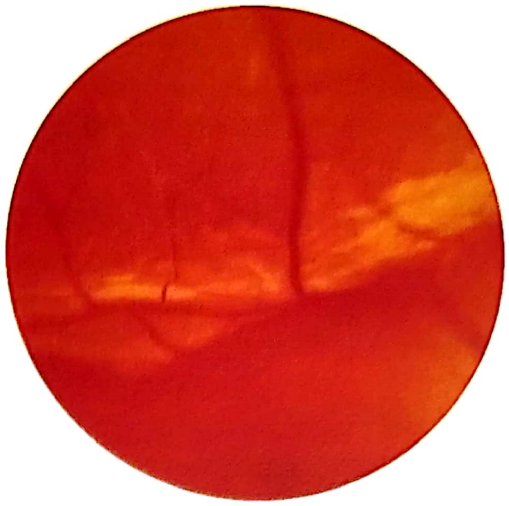


Figura 27. DR.

Tratamentul FC LASER este indicat în DR

- **curativ** pentru obturarea dehiscențelor și fixarea de coroidă a retinei pentru a crea o cicatrice solidă între EP și neuroepiteliu
  - parametrii laser trebuie bine cuantificați deoarece un supradozaj poate genera o ruptură în limitanta internă cu dezvoltarea de bride vitreoretiniene

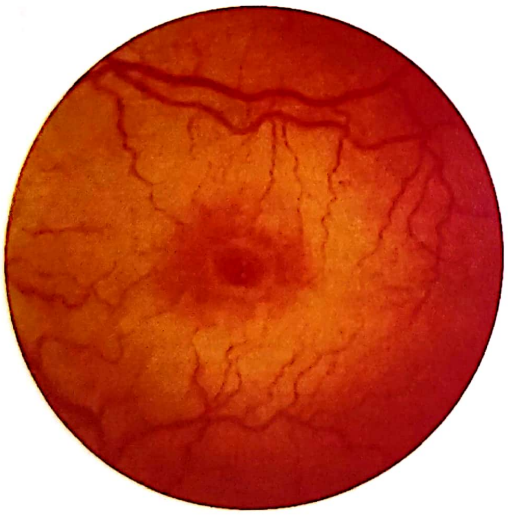


Figura 28. Gaură macular.

Figura 29. Gaură macular – AFG.

- **profilactic**
  - FC LASER a leziunilor predispozante pentru DR: ruptură retiniană (tip, mărime, localizare, pigmentare), retinoschisis senil, juvenil, cu baraj circular FC al leziunilor degenerative în retină sănătoasă (evitând supradozaj)
  - Prevenirea leziunilor cu risc de DR la miopi, afaci prin depistarea sistematică a leziunilor favorizante pentru DR la:

Scanned with OKEN Scanner

  - Miopi (medie, forte) cu examen sistematic al periferiei retinei, la miopi cu antecedente de DR
  - Afac
  - Pacienți cu contuzie forte hiphema și hemoftalmus + corp străin intraocular
  - Pacienți cu decolare posterioară de vitros (miopi, vârstnici)
- Prevenirea DR la ochi adelf când primul ochi are DR
- Un baraj laser eficient trebuie să fie: confluent, extins în retină sănătoasă, să acopere leziunile degenerative în totalitate, cu impacte laser la distanță de leziune 200–500 µm diametru
- Tratamentul profilactic poate fi sursă de complicații cu sindrom de retracție a limitantei interne postfotocoagulare
- Degenerescențe retiniene la miopi extinse necesită completarea fotocoagulării

Figura 30. Miop, Pata Fuchs.

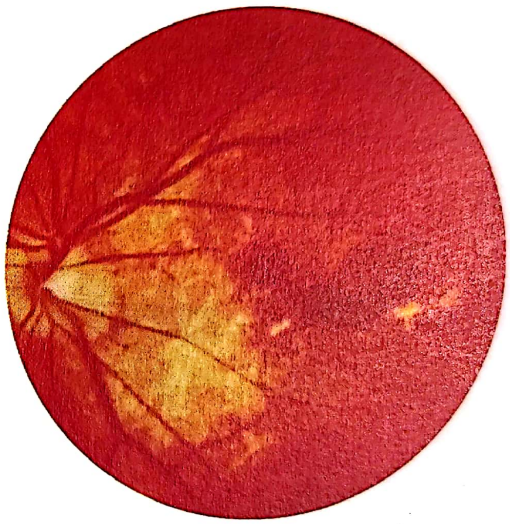


Figura 31. Degenerescență miopică.

Indicația majoră a fotocoagulării LASER în DR este prevenirea DR prin:
- prevenirea complicațiilor „deja prezente" prin tratament laser focal
- prevenirea leziunilor noi retiniene cu risc DR la pacienți cu antecedente (afakie, miopie ochi adelf la pacient cu DR pe primul ochi), cu baraj circular confluent la ecuator, lat de aproximativ un diametru papilar în retina sănătoasă evitându-se supradozajul.

Barajul circular de FC:
- poate crește riscul de tracțiune vitreană, cu apariția rupturilor și DR severă
- favorizează tracțiunea limitantei interne cu maculopatie secundară.

Barajul circular LASER trebuie să respecte anumite condiții:
- să se realizeze lent
- să NU se supradozeze

Scanned with OKEN Scanner

- să fie aplicat minuțios și exigent cu confluența impactelor și lărgirea suficientă a barajului
- control periodic pentru eventuale noi leziuni degenerative care necesită FC
- nu trebuie neglijată situația vitrosului, deoarece există risc crescut de DR în prezența tracțiunii vitreene

Indicațiile FC sunt legate de prezența unei DR, găuri, rupturi retiniene, palisade, leziuni givrate

În tratamentul FC al DR trebuie limitat extinderea leziunilor degenerative prin consolidarea retinei prin extinderea impactelor laser posterior și anterior, uneori până la panfotocoagularea periferică atentă

- impulsurile laser trebuie plasate dispersat pe leziune, în mai multe ședințe, în funcție de gravitatea leziunii, evitând supradozajul; intensitatea este moderată pentru a obține aspect alb-galben, cu diametru 200 microni, 0,1 s

PATOLOGIE PERIFERICĂ PREDISPOZANTĂ PENTRU DR

- **Leziuni interne vitreo-retiniene**
  - ***Degenerescența în palisadă*** – avansează cu vârsta, predomină în sectorul temporal, e legată de miopie, se complică cu DR în 30%
- **Degenerescențe intraretiniene**
  - ***Degenerescența microchistică tipică*** localizată în periferia retinei, înapoia orei serrata, retinoschizis plan – evolutiv cu risc DR prin vascuolizări intrastructurale retiniene cu formare de găuri retiniene complete/incomplete
  - ***Retinoschizis degenerativ*** – prin evoluția degenerescenței microchistice (mai frecvent după 40 ani) cu risc foarte mic DR (1%)
  - ***Retinoschizis heredo degenerativ*** – frecvent asociat cu degenerescența vitreo-retiniană cu risc major de DR
    - retinoschizis juvenil legat de sex
    - retinoschizis Goldman Favre (cu hemeralopie)
    - degenerescență hialoido vitreană Wagner
  - ***Retinoschizis secundar*** – posttraumatic, postinflamator
- **Degenerescența straturilor externe ale retinei**
  - ***Degenerescența pavimentoasă*** – localizată între ecuator și ora, este produsă prin atrofia EPR și este legată de miopie.
- Tratamentul leziunilor degenerative ale retinei prin LASER pentru prevenirea DR trebuie individualizat și limitat la extensia leziunii [44].
  - barajul LASER trebuie să fie suficient de larg, confluent, plasat în retina sănătoasă, să cuprindă toată regiunea degenerativă.

Scanned with OKEN Scanner

- impactele laser trebuie bine controlate pentru că arsura LASER poate provoca edem localizat al retinei, susceptibil a declanșa alte leziuni degenerative.

Retinoschizis congenital RSC situat la periferia retinei este localizat inferior, cu aspect bulos și pereți subțiri (greu de recunoscut când peretele intern dispare); ruptura peretelui intern (frecvent) cu subțierea progresivă a peretelui extern poate favoriza DR (50%) înainte de 20 ani.

FC este indicată în retinoschizis în:

- Retinoschizis asociat cu DR unde tratamentul chirurgical al DR este asociat cu FC LASER
- Forme periferice de retinoschizis bulos (multe se reduc spontan) unde poate fi necesar baraj LASER în retină sănătoasă
- FC profilactică prin baraj circular periferic ecuatorial cu examinarea periodică a retinei.

Figura 32. RS legat de sex.

Retinoschizis acut RSA relativ frecvent, 2–4% peste 40 de ani bilateral, simetric, plan sau bulos, localizat temporal inferior unde dedublarea retinei se produce în porțiunea mijlocie a retinei, cu debut la orra, în general asimptomatic, risc minim DR 0,07% după 40 de ani

- RS este benign în 70% nu necesită tratament, dar se poate complica cu dehiscență posterioară evolutivă spre DR care necesită FC LASER confluentă.
- Tratamentul FC LASER în RS acut poate fi:
  - Preventiv cu baraj FC laser circular ecuatorial în tot polul posterior când RS are caracter evolutiv
  - Curativ cu 3–4 rânduri de spoturi confluente plasate în retină sănătoasă la jumătate diametru papilar de marginea posterioară a RS de la orra pentru formele extinse cu posibile complicații; la nevoie repetarea FC în retină sănătoasă.

Scanned with OKEN Scanner

STRIURI ANGIOIDE

Striurile angioide – SA maladia Groenblad Strandberg sunt leziuni (rupturi) ale membranei Bruch asociate cu afectarea țesutului elastic, care se complică cu prezența de neovase în regiunea maculară și alterarea profundă a vederii.

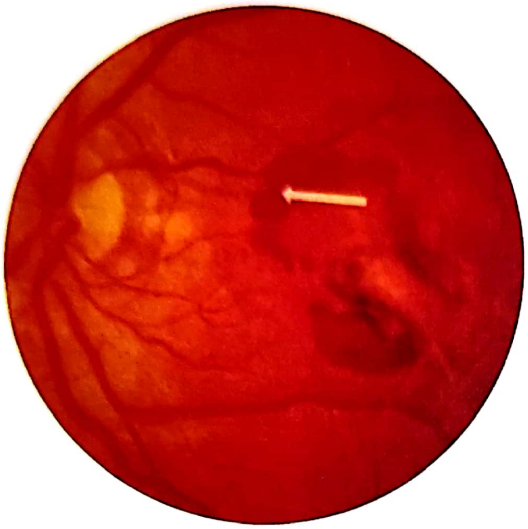


Figura 33. Striuri angioide.

Figura 34. Striuri angioide FC.

Fotocoagularea striurilor angioide realizează cicatrici adezive cu prevenirea hemoragiilor și distrugerea vaselor de neoformație coroidiană

- FC LASER Ar a neovaselor subretiniene în lungul striurilor angioide poate conserva sau ameliora AV dacă FC este corect efectuată, dar boala continuă să evolueze
- Rezultatele FC în SA pot fi discutabile pentru că impactele mici nu creează cicatrice adezivă, iar cele puternice pot produce noi breșe la nivelul membranei Bruch

ANOMALII VASCULARE ALE RETINEI

Tratamentul LASER FC este indicat în anomalii vasculare ale retinei în:

- Corioretinita seroasă centrală – CRSC
- Retinopatia de prematuritate
- Maladia Leber Coats, anevrism miliar Leber
- Telangiectazii dobândite, congenitale
- Hemangiom cavernos al retinei
- Maladia von Hippel Lindau
- Boala Eales
- Retinoapatie drepanocitară, din hemopatii

Scanned with OKEN Scanner

CORIORETINITA SEROASĂ CENTRALĂ – CRSC

Afectează mai frecvent adult tânăr 20–45 ani, de sex masculin 60%, este bilaterală, self-limitată cu evoluție spontană spre vindecare.

CRSC este asociată cu scăderea vederii centrale, imagini distorsionate și tulburări de adaptare la întuneric

- este o anomalie de permeabilitate a coroidei, cu formare brutală de lichid subretinian prin detașarea retinei senzoriale, urmată de scădere de vedere [27];
- OCT, AFG confirmă diagnosticul.

Figura 35. FO în CRSC.

Brusc pacientul acuză vedere în ceață la un ochi cu scotom cu poziție variabilă, micropsie și metamorfopsie prin localizarea leziunii la nivel foveolar

- Oftalmoscopic macular: denivelare a retinei senzoriale cu reflex strălucitor
- Evoluția este în multe cazuri favorabilă, cu regresie spontană a lichidului subretinian și revenire la normal a AV în 3–6 luni, dar cu posibila persistență a micropsiei și metamorfopsiei.

Tratamentul CRSC este indicat când simptomele oculare sunt persistente

- FC LASER a punctului de fugă este cea mai eficientă
- FC LASER argon cu abordarea punctului de fugă cu un spot de 200 microni diametru, expunere 0,2 secunde, putere mică, cu închiderea acestui punct și limitarea/oprirea scurgerii lichidului subretinian din zona coriocapilară localizată sub EPR
  - după 10–15 zile vindecare cu persistența unei cicatrici fine corespunzătoare punctului de fugă fotocoagulat.
- FC LASER este indicată în CRSC recurentă cu deficit vizual, leziuni persistente mai mult de 4 luni, lichid subretinian tulbure, vedere modificată
- FC maculară în potcoavă cu deschidere spre papilă, protejând fascicolul papilo-macular
- FC LASER micropuls folosește laser galben 577 nm

Scanned with OKEN Scanner

Figura 36. FC în CRSC.

Figura 37. FC în CRSC.

RETINOPATIA DE PREMATURITATE

Retinopatia de prematuritate – ROP – este o retinopatie vasoproliferativă care apare la copii prematuri cu greutate sub 1500 g, vârsta de gestație sub 32 săptămâni, expuși la oxigen mai mult de 50 zile

- Vascularizația retiniană normală cu dispoziție radială în jurul nervului optic este definitivă și acoperă periferia temporală a retinei după 15 zile de la naștere.
- Retinoaptia de prematuritate se dezvoltă [34]
  - primar din cauza imaturității vasculare retiniene asociată cu hipoxia care antrenează neovascularizația, care este agravată de hiperoxigenarea tranzitorie, care accentuează neovascularizația
  - secundar prin proliferare endotelială
- **Zona temporală este sediul cel mai precoce al ROP.**
  - Vasele anormale sunt prezente la joncțiunea între retina periferică avasculară și retina posterioară, vascularizată imatur
  - **LASERUL este aplicat pe retina avasculară**
  - Efectele FC LASER se produc prin
    - distrucția selectivă a retinei externe și parțial a fotoreceptorilor, cu creșterea difuziei de oxigen în vasele coroidiene, în retina internă.
    - reducerea producției și secreției de factori neovasculari – VEGF care ameliorează hipoxia.
    - reducerea neovascularizației prin efectul sinergic între VEGF, FGF, TGF beta
    - ameliorarea ischemiei retiniene și diminuarea citochinelor favorizează regresia neovaselor [22]

Scanned with OKEN Scanner

Boala are evoluție stadială: retina imatură ROP activă – stadiul 1, 2, 3 – boala „plus" și ROP cicatricială cu stadiul 4 fibroză cu DR tracțională și stadiul 5 cu DR totală tunelizată

- agravarea ROP se face prin extinderea circumferențială a leziunilor cu evoluție nefavorabilă sau agravare cu proliferare neovasculară extraretiniană asimetrică pe cei doi ochi.

Tratamentul FC LASER este indicat pentru zonele nevascularizate, cu rezultate funcționale bune

- FC LASER este confluentă cu LASER diodă sau argon pe toată zona periferică nevascularizată
- Sechele ale ROP post FC LASER sunt posibile: ectopie maculară, miopie, strabism, glaucom cu unghi închis, cataractă, hemoragii vitreene, pliu macular folciform.

Este necesară supravegherea atentă pe durată mare a copilului.

MALADIA LEBER COATS

Boala Leber Coats este o boală vasculară exudativ proliferativă, neereditară care asociază anomalii capilare retiniene, telangiectazii și anevrisme retiniene cu exudate intra, subretiniene și DR, fără semne de inflamație.

Figura 38. Boala Coats.

Figura 39. Boala Coats.

Tratamentul constă în ocluzia vaselor alterate pentru a opri exudația prin crioterapie (aplicații locale de frig) și tratament FC LASER.

Tratamentul FC laser precoce al anomaliilor vasculare permite obținerea rezorbției exudatelor și poate opri evoluția nefavorabilă a bolii; **cu prudență la FC LASER a ectaziilor la nivel macular**

- Fotocoagulare cu LASER argon și Yag-Nd dublat în frecvență sub control AFG în absența DR direct pe dilatații și anevrisme.

Scanned with OKEN Scanner

TELANGIECTAZII CONGENITALE, DOBÂNDITE

Sunt un grup de afecțiuni vasculare care prezintă capilare retiniene dilatate și tortuoase cu anevrisme, edem retinian, exudate dure.

Figura 40. Angiomatoza retiniană.

Telangiectazia congenitală perifoveolară – rară idiopatică, uni/bilaterală, AD cu ectazie capilară care creează nonperfuzii și care se poate complica cu hemoragii retiniene cu evoluție în grad 1 A/B, 2, 3

- În funcție de stadiu, FC LASER a zonelor de difuzie este indicată în stadiul 1A, B, în stadiul 3 FC neovaselor coroidiene, în stadiul 4 tratamentul este ineficient.

Telangiectazii dobândite pot fi prezente în RD, OVCR, retinopatia din drepanocitoză, boala Eales, ROP, vascularite retiniene

- FC LASER are indicații în funcție de etiologie.

HEMANGIOM CAVERNOS AL RETINEI

Figura 41. Hemangiom cavernos al retinei.

Scanned with OKEN Scanner

Este un hamartom vascular unilateral cu dilatații vasculare saculare în ciorchine cu aspect „boabe de strugure", unilateral, fără exudații importante, localizat retinian sau juxtapapilar cu vascularizație normală a retinei în afara angiomului cavernos, complicat rar cu membrană epiretiniană (dacă afectează macula) hemoragii pre, sub, intraretiniene, HV.

– Tratamentul FC laser la nevoie sau crioterapie

MALADIA VON HIPPEL LINDAU – HEMANGIOM CAPILAR RETINIAN

Maladia von Hippel Lindau asociază tumori angiomatoase retiniene cu angioame cerebrale.

– Maladia von Hippel este o angiomatoză retiniană cu angiom retinian (1/2 – 1DP localizat periferic sau juxtapapilar cu arteră și venă dilatate, complicat în evoluție cu DR exudativă localizată sau totală cu glaucom neovascular cu pierderea vederii.

Figura 42. Boala Hippel-Lindau.

Figura 43. Boala von Hippel-Lindau FC.

- Tratamentul FC se aplică pe pedicul (cea mai utilă), pe tumoră în retina sănătoasă, în vecinătatea tumorii, la nivelul zonelor de ischemie.
- FC LASER pe tumoră este eficace, dar necesită atenție pentru a evita ruperea tumorii și hemoragie secundară; se vor aplica spoturi relativ mari, cu putere relativ joasă, timp de expunere prelungit 0,5–1 s; uneori FC LASER se aplică și în retina sănătoasă înaintea crioterapiei
- FC în angioamele mai mari de 1DP este ineficientă

BOALA EALES

Maladia Eales este o vasculopatie retiniană idiopatică cu tromboze capilare de la periferia retinei spre retina centrală, însoțită de neovascularizație și hemoragii intravitreene recidivante la pacienți tineri, 20–40 ani; cu evoluție centripetă a retinopatiei ischemice [44].

Scanned with OKEN Scanner

Figura 45. Boala Eales.

Figura 44. Boala Eales FC.

Evoluția bolii Eales este deseori incertă; leziunile inițiale afectează peretele vascular care antrenează ocluzii vasculare cu ischemie retiniană asupra căreia poate acționa FC laser.

- La boala Eales este indicată FC LASER a retinopatiei ischemice proliferante, FC care poate stabiliza leziunea și uneori poate ameliora anatomic și funcțional boala pe o perioadă tranzitorie.
- Vitrectomia precoce poate fi indicată, operația nu oprește evoluția bolii, dar o poate limita favorabil.

RETINOPATIA DREPANOCITARĂ

Boala prezintă două forme clinice: neproliferantă și proliferantă (cu evoluție în 5 stadii).

- Tratamentul FC LASER prin fotocoagulare panretiniană permite regresia neovaselor
- La nevoie vitrectomia prin pars plana pentru DR tracțională și/sau hemoragie intravitreană persistentă.

TUMORI INTRAOCULARE

Tumorile intraoculare reprezintă o proliferare celulară anormală, ele putând fi:

- benigne : bine delimitate, încapsulate, cu creștere lentă, nu recidivează
- maligne: nedelimitate, neîncapsulate, cu structură anarhică și mitoze atipice, cu creștere rapidă, invazia țesuturilor și recidivă locală ± metastaze

Tratamentul fotocoagulator LASER sau vaporizator poate fi indicat în:

- tumori coroidiene
  - nev coroidian
  - hemangiom coroidian
  - melanom coroidian

Scanned with OKEN Scanner

- tumori retiniene
  - ale EP: hiperplazie, adenom
  - ale neuroepiteliului – retinoblastom
  - vascular – hemangiom cavernos

TUMORI COROIDIENE

NEVI COROIDIENI

Nevii coroidieni sunt leziuni congenitale, cu potențial evolutiv, cu creștere preferențială în perioada prepubertară, fără modificări ale nevilor la adult, cu pigmentare a tumorii care apare între 6–10 ani

- tumoră plană, puțin proeminentă, gri, verde, albastră, bine delimitată, cu diametru 1–3 diametri papilari, cu structură omogenă
- evoluție în general staționară.

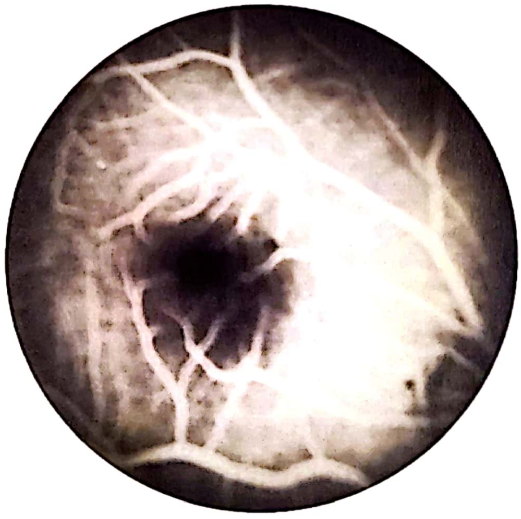


Figura 45. Pată melanică.

HEMANGIOM CAVERNOS COROIDIAN

- Tumoră rară prezentă la tineri 10–20 ani, rar izolat, mai frecvent se însoțește de nevi coroidieni cu aspect „flacără" și glaucom în sindromul Sturge-Weber-Krabbe.
- Nu este necesar tratamentul atât timp cât este asimptomatic.
- Dacă este afectată AV sau se complică cu DR seroasă este indicată fotocoagularea LASER, care produce post impacte laser adeziune corioretiniană cicatricială eliminând factorul generator al acumulării de lichid subretinian.

Scanned with OKEN Scanner

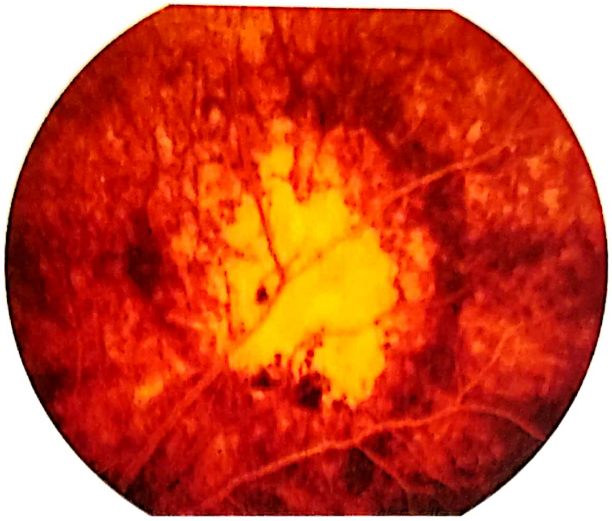


Figura 46. Hemangiom AFG.

MELANOMUL MALIGN COROIDIAN – MMC

- MMC este o tumoră rară, cu prognostic rezervat și este cea mai frecventă tumoră oculară malignă primitivă la adult
  - se dezvoltă mai frecvent pe ochi de culoare deschisă (albastru, verde), după expunere solară, excepțională la rasa neagră
  - diseminare metastică 50% după diagnosticul inițial cu metastaze hepatice în 90%
  - tratamentul este dificil și cel mai frecvent radical, necesitând enucleația.

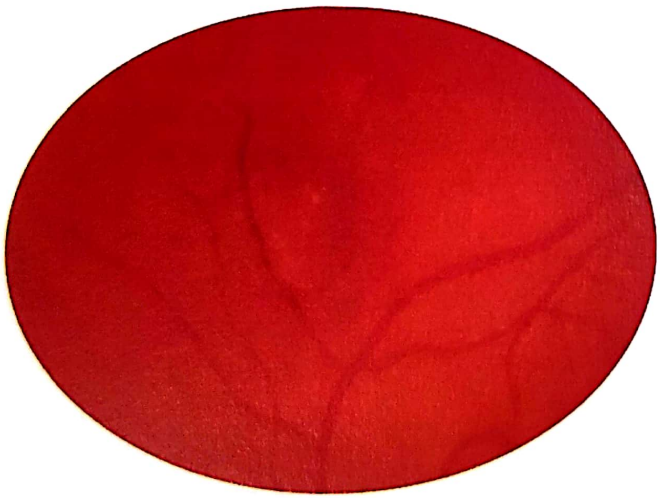


Figura 47. MMC incipient.

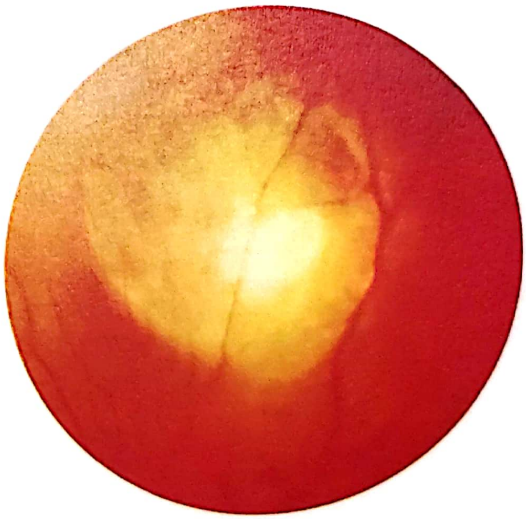


Figura 48. MMC matur.

- În funcție de aspectul microscopic MMC este cu: celule fuziforme tip A (cel mai bun prognostic), celule fuziforme tip B (evoluție nefavorabilă), fascicular cu celule A sau B, **MMC cu celule epitelioide (cel mai grav prognostic),** MMC cu celule epitelioide și fuziforme (prognostic intermediar) MMC necrotic cu reacție inflamatorie intensă (prognostic intermediar).

Scanned with OKEN Scanner

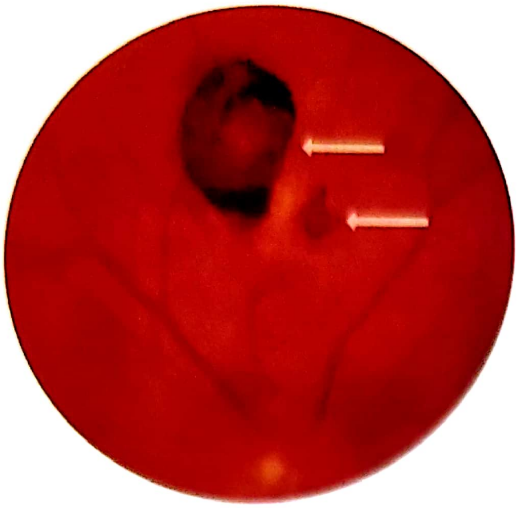


Figura 49. MMC.

Figura 50. MMC Fotocoagulat.

Prognosticul MMC este influențat de aspectul microscopic al tumorii, dar și de aspectul macroscopic legat de:

- mărimea tumorii – tumori mari cu prognostic mai grav
- tumori difuze cu prognostic rezervat datorită prezenței celulelor epitelioide
- leziuni ale membranei Bruch (rupturi) prezente dau tumorii prognostic rezervat
- vârsta – gravitatea creșterii după 65 ani
- pigmentarea: tumorile amelanotice au prognostic mai bun față de cele hiperpigmentate
- extensie sclerală este factor de prognostic nefavorabil.

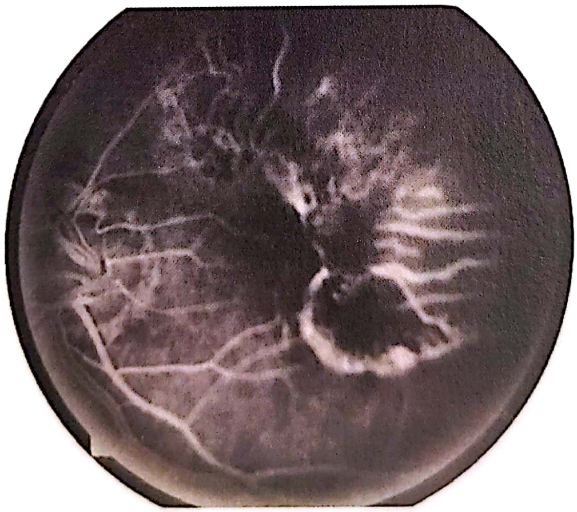


Figura 51. MMC Extins.

- Tratamentul corect al MMC este discutabil, depinde de aspectul macroscopic al tumorii: dimensiuni, extensie, pigmentare, vârsta pacientului
- **Fotocoagularea laser argon în MMC este metodă terapeutică minoră cu indicații limitate și cu eficiență discutabilă**
  - beneficiază de FC LASER maximum 5% din pacienții cu MMC depistat

Scanned with OKEN Scanner

  - FC LASER poate fi indicată în tratamentul nevilor responsabili de decompensarea edematoasă a ariei maculare
- Tratamentul cel mai frecvent în MMCeste cel chirurgical cu enucleația globului ocular, care însă trebuie efectuat în timp util pentru a preveni metastazele
- Tratamentul conservator al MMC este radioterapie externă – currieterapie locală cu iradiere prin placă suturată la scleră: cobalt 60, ruteniu, iod 125 sau iradiere cu fascicol de protoni accelerați – protonoterapie
  - Protonoterapia permite o iradiere precisă folosind accelerator de particule
    - risc mai mare în localizarea tumorală perimacular, peridiscal
    - complicații locale: retinopatie radică, atrofie optică, edem macular, cataractă, hemoragie vitreană, glaucom, OVR, necroză sclerală [47]
- Tratamentul conservator al tumorilor coroidiene pigmentate poate fi fotocoagularea laser, asociată deseori cu alte indicații terapeutice frecvent cu radioterapie sau este folosită pentru rezolvarea efectelor secundare ale iradierii (în cazuri de ischemie retiniană indusă de radioterapie FC sectorială sau panfotocoagulare previne glaucomul neovascular și hemoragia vitreană)
- FC LASER poate elimina (uneori) recidivele mici după tratamentul conservator (radioterapie sau excizii locale).
- FC LASER poate fi folosită și pentru tratamentul transcleral al bazei tumorii cu dioda LASER sau LASER Krypton
  - eficiența terapeutică poate fi amplificată prin injectare verde indocianină care crește absorbția lungimii de undă a LASERULUI diodă [45]
- Efectul fotocoagulator laser argon este însoțit deseori de recidivă sclerală posibil prin nepenetrarea impactului laser până la scleră, folosindu-se cu indicații precise metoda termoterapie transpupilară ca adjuvant al radioterapiei.
- **Termoterapia transpupilară – TTP** folosește LASER diodă 810 nm, printr-un fascicol de energie laser care traversează orificiul pupilar dilatat și produce necroza țesutului tumoral
  - **poate fi folosită cu eficiență bună în tratamentul tumorilor mici, cu grosime sub 3,5 mm**
  - există un procentaj ridicat de recidivă locală explicabil prin persistența vaselor neocluzate în tumori cu grosime mai mare de 3 mm, tumori acrome care NU absorb energie, tumori aproape de NO.

Tratamentul TTP este indicat în funcție de dimensiunea tumorii, viteza de creștere, extensia extrasclerală ± glaucom neovascular ± DR ± metastaze [38].

- TTP în tratamentul MMC se face cu laser diodă 810 nm aplicat la lampa cu fantă, cu fascicol infraroșu focalizat pe retină prin lentila de contact aplicată pe cornee.
  - tratamentul începe cu puncte de impact, durata 60 s, intensitate 300 mV
  - se crește progresiv puterea (50 mV) până la obținerea unei zone albicioase discrete pe suprafața tumorii
  - tratamentul este repetat la 3 luni până la obținerea unei cicatrici corioretiniene inactive

Scanned with OKEN Scanner

  - **procentajul de regresie a tumorii este în medie 20% dacă indicația a fost adecvată bolii și bolnavului, tumoră de dimensiuni mici, fără extensie tumorală locală sau metastatică**
  - recidivă tumorală posibilă
  - complicații oculare – tracțiune retiniană ca fibroză preretiniană, ocluzii vasculare retinocoroidiene
- **TTP poate fi opțiune terapeutică în cazuri bine selecționate în MMC**
- FC LASER este folosită rar în oncologia oculară; cel mai frecvent FC laser în tumori este asociată cu alte metode terapeutice, pentru a rezolva efectele secundare ale iradierii și pentru a preveni pierderea de vedere.

TUMORI RETINIENE

RETINOBLASTOM – RB

- Retinoblastomul, cea mai frecventă tumoră intraoculară la copil, este o tumoră rară, la ambele sexe, uni, rar bilaterală
  - tumora este depistată în jurul vârstei de 18 luni, dar devine evidentă clinic spre 3 ani
  - RB ar putea fi cauzat de schimbări în gena localizată pe cromozomul 13
    - în funcție de gradul de afectare genică pot fi:
      - retinom – tumoră benignă – foarte rară
      - pinealom
      - retinoblastom uni sau bilateral
      - predispoziție genetică pentru tumori neoculare de tipul sarcomului osteogenic
    - prevalența crescută a RB la pacienți cu deleția brațului lung al cromozomului D(13–15) sau asocierea tumorii cu trisomie 21.
    - modul de transmitere al RB în cazurile familiale este autosomal dominant 6% cu penetranță incompletă 70%
      - 94% sunt cazuri sporadice, din care 25% sunt transmisibile, 75% netrasmisibile.
- RB este foarte metastazant, multicentric, cu evoluție diferită la cei doi ochi
- RB este foarte sensibil la radiații și în situația stabilirii unui diagnostic pozitiv precoce, eficacitatea terapeutică este evidentă, și poate salva ochiul de la enucleație.
- Diagnosticul pozitiv al RB se face în2/3 din cazuri pe prezența leucocoriei sau ochiul de pisică amaurotic, prin care se evidențiază prezența unui reflex pupilar alb într-o anumită incidență a privirii
  - examenul oftalmoscopic evidențiază masă tumorală albă retrocristalian boselată, străbătută de vase.
- Complicații posibile în evoluția unui RB sunt: glaucom secundar (uneori buftalmie – 3%), cataractă unilaterală, inflamație uveală, hiphema, DR.

Scanned with OKEN Scanner

- Tumora are mare potențial invaziv, cu evoluție rapidă și mortalitate 15–20%, cu:
  - invazie tumorală local în vitros, NO, coroidă, uvee
  - extensie spre orbită, vasele craniului, spațiile subarahnoidiene și encefal
  - metastaze la distanță în măduva osoasă, ganglioni limfatici, ficat

Figura 52. Retinoblastom noduli gliomatoşi şi depuneri calcare.

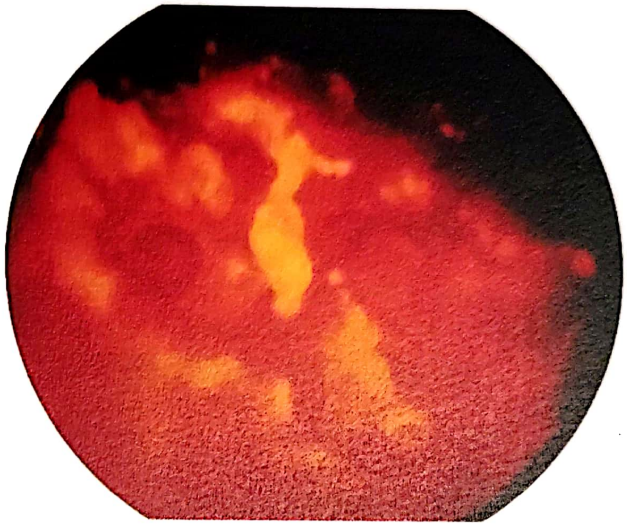


Figura 53. Retinoblastom noduli gliomatoşi şi depuneri calcare.

- Prognostic vital
- Tratamentul RB este radical chirurgical, cu enucleație asociată cu radioterapie și chimioterapie sistemică.
- **Tratamentul conservator al RB este controversat, dar cu indicație adecvată ar putea avea efecte terapeutice favorabile**
  - **Tratament FC laser cu impacte laser aplicate pe tumoră** până la ridicarea temperaturii locale care produce o albire a țesutului impactat
    - ședințe repetate de 2–3 ori succesiv
    - efecte benefice în 2–3 săptămâni, cu obținerea unei cicatrici tumorale plane
    - **această modalitate de tratament poate fi indicată numai în tumori mici localizate posterior de ecuator**
    - complicații
      - tratament ineficient
      - edem, hemoragii retiniene localizate și tranzitorii
      - eșec terapeutic cu recidive tumorale locale și invazie regională (chiar sistemică)
  - **Termoterapia transpupilară în RB** în care unda laser este aplicată pe tumoră și peritumoral, transpupilar, focusând vasele [36]
    - **metoda terapeutică este eficientă NUMAI în tumori de mici dimensiuni**
    - TTP folosește aplicații laser infraroșu direct pe tumoră cu laser diodă 810 nm prin care energia laser ar putea distruge celulele canceroase sau

Scanned with OKEN Scanner

tumori de dimensiuni mici sau FC distruge aprovizionarea cu sânge a tumorii
  - TTP poate fi folosită pentru a reduce dimensiunile tumorii, folosindu-se apoi alte tehnici de ablație tumorală
- **Termochimioterapia** este TTP asociată cu tratament chimioterapic, folosită în tratamentul conservator al RB pentru a evita [36,48]:
  - iradierea excesivă și este indicată în tumori de dimensiuni mari
  - fascicol laser orientat pe tumoră câteva minute sub microscop operator transpupilar
  - anestezie generală
  - carboplatin intravenos
  - temperatura tumorii crește și ranforsează eficacitatea chimioterapiei
  - în patru ședințe s-ar putea obține chiar vindecarea
- **Termoradioterapia în care TTP este asociată cu radioterapie**
- **Accelerator de plasmă LASER** în care plasma este creată printr-un impuls laser foarte intens și scurt dirijat spre țintă cu manipularea ultrarapidă a electronilor plasmei cu impulsuri laser
- **Tratament LASER asistat prin nanoparticule plasmonice** alternativă la tratamentul chimioterapic [35]
  - Realizează creșterea importantă a temperaturii la locul de impact, care omoară celulele canceroase
  - Folosește LASER pulsat nanosecunde și nanoparticule de aur 100 nm.

BIBLIOGRAFIE

1. Chung-Yee, Chung, Janice JC Cheung, *et al.*, Pattern Scanning LASER Panretinal Photocoagulation in Proliferative Diabetic Retinopathy, Retina, 2016, 1/2, 176.
2. Montoya, RV, Guerrero-Narajo, JL, *et al.*, Pattern scan LASER photocoagulation: safety and complications, experience after 1301 consecutive cases, Br J Ophthalmol, 2010, 94(6):720–4.
3. Chuang-Xin Huang, Kun-Bei Lai *et al.*, Long-term effects of pattern scan LASER pan-retinal photocoagulation on diabetic retinopathy in Chinese patients: a retrospective study, 2020, 13(2):239–245.
4. Fenwick, EK, Lamoureux, EL, Effect of pan-retinal photocoagulation treatment on vision-related quality of life of patients with proliferative diabetic retinopathy, Retina, 2013, 33(7), 1479.
5. Ulbig MR, Arden GB, Hamilton AP, Color contrast sensitivity and pattern electroretinographic findings after diode and argon LASER photocoagulation in diabetic retinopathy. Am J Ophthalmol, 1994; 117(5):583–588.
6. Muqit, MMK, Marcellino, GR, *et al.*, Pascal panretinal LASER ablation and regression analysis in proliferative diabetic retinopathy: Manchester Pascal Study Report 4, 2011, 25/11, 1447-56-google scholars.
7. Smith CW, Guyer DR, D'Amico DJ. Subretinal fibrosis after LASER photocoagulation for diabetic macular edema. Am J.Phthalmol 1992; 113(6):652-656.
8. Nagpal, M, Shukla C, Kothari K, Multispot and Multiwaveength Lasers for Diabetic Retinopathy, Retina Today, 2014.
9. Roider J., LASER treatment of retinal diseases by subthreshold LASER effects. Semin Ophthalmol, 2009; 14(19–26), PubMed.
10. Wilson AS, Hobbs BG, Shen W-Y, *et al.*, Argon LASER photocoagulation-induced modification of gene expression in the retina. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2003; 44(4):1426–1434.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 10

TRATAMENTUL LASER ÎN BOLILE RETINIENE

FLORIN BALTĂ, ANCA OPRESCU, GEORGE BALTĂ

- Meyer-Schwickerath în 1954 a publicat raportul despre efectele benefice ale arsurilor LASER asupra retinei.
- Hans Littmann a ajutat Laboratoarele Zeiss să monteze primul fotocoagulator xenon-arc în 1956. Sistemul a fost eficient, dar era dificil de focusat raza într-un spot mic, tratamentul presupunea expunere prelungită și era dureros.
- **Theodore Maiman a inventat primul LASER oftalmic în 1960 la Laboratoarele de Cercetare Hughes,** folosind energie monocromatică
  - Sistemele care foloseau **LASERE pe bază de rubin** (lungime de undă de 694 nm) au fost printre primele studiate în oftalmologie
  - Ofereau avantajele unei variabilități a duratei pulsurilor și tratamente mai precis targetate, putând fi cu succes aplicate în scop terapeutic, dar distrugerea intensă corioretiniană și sângerările frecvente s-au dovedit problematice.
- **LASERUL argon** în oftalmologie poate folosi emisie de lumină albastră (488 nm) sau verde (514 nm), absorbită de hemoglobină și de melanină.
- Fotocoagularea retiniană este tratamentul standard al complicațiilor retinopatiei diabetice
- Deși eficientă, panfotocoagularea LASER retiniană determină leziuni secundare și efecte adverse:
  - reducerea vederii scotopice;
  - scotoame maculare și periferice cu scăderea vederii centrale și periferice;
  - agravarea edemului macular;
  - perturbarea anatomiei retiniene prin formarea de cicatrici.
- **LASERELE diodă** (lungime de unde 810 nm) s-au folosit pentru a produce arsuri sub-prag (mai puțin vizibile oftalmoscopic) în edemul macular diabetic și al degenerescenței maculare legate de vârstă (DMLV).
- **LASERUL diodă micropulsat** (Pankratov) produce o serie de pulsuri LASER cu durata de câteva milisecunde, separate prin intervale variabile, rămâne tratamentul selectiv al epiteliului pigmentar retinian cu protejarea retinei neurosenzoriale.

Scanned with OKEN Scanner

- **LASERUL Diodă Micropulsat sub-prag – SDM** (densitate crescută/ intensitate scăzută) este nondistructiv și non inflamator
  - SDM permite tratamentul sigur transfoveal la ochii cu acuitate vizuală bună
  - SDM crește sensibilitatea retiniană evaluată prin microperimetrie la locul aplicării LASER
- **SRT – *Selective Retina Therapy*** – constă în aplicarea unor pulsuri laser în undă continuă, cu durată mai scurtă cu acțiune selectivă pe EPR și protecția fotoreceptorilor și alte celule intraretiniene.
- **Termoterapia transpupilară – TTT** – folosește laser cu lungime de undă apropiată de infraroșu – 810 nm – iradiantă scăzută și expunere largă – 1 minut, cu spoturi de dimensiune mare
  - este folosită în tratamentul melanoamelor mici, în combinație cu brahiterapie.
- **Terapia fotodinamică** – prin care vasele coroidiene din membranele neovasculare sunt lovite de un pigment fotosensibilizator – verteporfina – activat de un LASER roșu
  - este primul tratament farmacologic folosit pentru DMLV, limitat acum prin apariția tratamentului anti-VEGF
  - terapia fotodinamică (PDT–*Photo Dynamic Therapy*) determină ocluzie vasculară intraluminală cu regresia membranei neovasculare coroidiene și rămâne o opțiune terapeutică principală sau suplimentară în unele afecțiuni patologice ale coroidei (Vasculopatiei Polipoide Coroidiene).
- **LASERUL fotocoagulant PASCAL cu pattern**, un LASER cu lungimea de undă de 532 nm care se poate folosi pentru fotocoagulare standard prin aplicarea unui pattern uniform de mai multe spoturi simultane.
  - Datorită duratei mici a pulsurilor, energia termică degajată este redusă, rezultând mai puține leziuni termice.
  - Tehnologia LASER cu pattern permite aplicarea de spoturi echidistante, permite o aplicare eficientă a LASERULUI grid macular și panfotocoagulare retiniană rapidă, cu mai puțină durere. În prezent, este un sistem LASER destul de folosit.
- **Platforma LASER NAVILAS** folosește un sistem bazat pe navigație retiniană și fundus camera.
  - LASERUL pattern de 532 nm, cu sistem de urmărire a ochiului, integrează imagini color ale fundului de ochi, aneritre și în infraroșu, precum și imagini angiofluorografice cu sistem de fotocoagulare.
  - După captarea imaginilor și stabilirea planului individual de tratament, acesta este suprapus pe imaginea retiniană obținută în timp real în timpul tratamentului.
  - Platforma permite documentarea digitală a tratamentului pentru referințe ulterioare.
  - Utilizarea acestei platforme permite o mai mare acuratețe a tratamentului comparativ cu LASERELE montate pe biomicroscop.
- 1971 – **LASERUL Nd:YAG (neodinium ytrium aluminium-garnet)** este cel mai utilizat laser pentru tratamentul afecțiunilor oculare, având

Scanned with OKEN Scanner

indicații precum: capsulotomia posterioară și anterioară, iridotomia periferică, vitreoliza și ranforsarea stromală corneană (în eroziuni recurente, LASERUL Nd:YAG poate fi folosit ca alternativă la puncționarea stromei anterioare cu acul, debridării epiteliale mecanice sau cu alcool. Avantajele acestei tehnici sunt că nu necesită îndepărtarea epiteliului supraiacent, nu lasă cicatrici și nu este dureroasă).

- **Fotocoagularea reprezintă coagularea tisulară obținută prin folosirea energiei luminoase, care, aplicată pe țesutul țintă, se transformă în energie termică. Temperatura țesutului crește peste 65° C, producându-se denaturarea proteică și necroza de coagulare.**
- Eficacitatea fotocoagulării este condiționată și de absorbția tisulară a energiei LASERULUI. Lumina este absorbită în principal de țesuturile oculare ce conțin melanină, xantofil sau hemoglobină.
- Sistemele laser folosite în practica oftalmologică curentă au lungimi de undă cuprinse între 400 și 700 nm, unele chiar și în spectrul infraroșu (>700 nm). Sistemele de livrare a LASERULUI sunt, de asemenea, variate, incluzând:
  - abordul transpupilar (prin LASER atașat unei lămpi cu fantă sau unui oftalmoscop indirect),
  - endofotocoagularea practicată în timpul vitrectomiei sau fotocoagularea transsclerală
  - fotocoagulare retiniană ghidată prin videocameră, cu sistem de urmărire a ochiului incorporat (NAVILAS).
- Alegerea lungimii de undă a LASERULUI depinde de scopul tratamentului și de cât de precisă (țintită) trebuie să fie fotocoagularea. Zona de fotocoagulare propriu-zisă este direct legată de intensitatea și de durata iradierii. Pentru anumiți parametri (dimensiunea spotului, durata, putere), intensitatea arsurii obținute depinde și de claritatea mediilor oculare și de gradul de pigmentare.
- Efectele laserului la nivelul segmentului posterior includ:
  - efecte termice: absorbția energiei LASER de către pigment determină o creștere a temperaturii tisulare cu 10–20° C, care determină denaturarea proteinelor.
  - efecte fotochimice: reacțiile fotochimice sunt produse de lumina din spectrul vizibil sau ultraviolet absorbită de moleculele tisulare sau molecule de agent fotosensibilizant (ex: verteporfirina), cu producția de radicali liberi citotoxici
  - vaporizarea: este produsă de creșterea temperaturii apei peste punctul de fierbere, cu apariția unor microexplozii.

TEHNICI CONVENȚIONALE DE FOTOCOAGULARE LASER

- **Fotocoagularea LASER argon a fost considerată tratamentul standard pentru retinopatia diabetică proliferativă și maculopatia diabetică cu**

Scanned with OKEN Scanner

edem macular și continuă să fie o opțiune terapeutică chiar și în era farmacoterapiei intravitreene. ETRDS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) a arătat că ***tratamentul LASER reduce incidența pierderii moderate de vedere cu până la 50%.***

- Efectele tratamentului sunt influențate de:
  - timpul de expunere
  - putere
  - dimensiunea spotului; un timp de expunere scurt și intens crește riscul de rupturi tisulare (rupturi ale membranei Bruch) și hemoragii retiniene. O expunere cu timp mai lung și mai puțin intens determină o creștere ulterioară a cicatricilor
  - trebuie să se țină cont și de mărirea determinată de tipul de lentilă folosită
  - ținta retiniană trebuie să fie focalizată corespunzător și perpediculară pe axa fantei biomicroscopului, astfel încât pe suprafața retiniană să apară un spot precis delimitat.
- Tratamentul precoce cu fotocoagulare maculară focală înainte de apariția edemului macular cronic se recomandă pentru păstrarea unei acuități vizuale bune.
- **Fotocoagularea focală** se referă la un tratament direct al anevrismelor care exudează în retina edemațiată în raza a 3000 microni de centrul maculei. Într-un tratament convențional, fiecare microanevrism fiind tratat cu spoturi de 50–100 microni și timp de expunere 0,1 s, determinând mici cicatrici corioretiniene. Parametrii pot fi modificați dacă dorim tratament sub-prag.
- **Fotocoagularea grid** se presupunea că duce la creșterea migrării și proliferării celulelor epiteliului pigmentar retinian, ducând la o scădere a exudației lichidiene. LASERUL grid se folosește în principal în caz de leakage difuz, fără leakage focal evident.
  - Tehnica presupune arsuri cu diametrul de 50–200 microni egal distanțate (*pattern*).
  - Fotocoagularea LASER grid în edemul macular diabetic are eficacitate pe termen lung chestionabilă.
  - A fost tratamentul de elecție (bazat pe dovezi) pentru edemul macular din ocluzia de ram venos retinian dar acum tinde să fie înlocuit de terapia antiangiogenică ca primă linie de tratament.

TEHNICA DE FOTOCOAGULARE LASER ÎN PATTERN SCANNING (PASCAL)

- Presupune obținerea unor arsuri multiple într-o secvență rapidă, predeterminată, într-o anumită dispunere, determinată de un scanner.
  - Durata pulsurilor este redusă la 10–20 ms (de regulă 10 ms pentru regiunea maculară și 20 ms pentru panfotocoagulare).
  - Scopul este de a optimiza efectul terapeutic și de a determina leziuni minime la nivelul țesutului retinian.

Scanned with OKEN Scanner

  - Folosind pulsuri cu durata mai mare de 10 ms, mecanismul principal de acțiune la nivel retinian este reprezentat de denaturarea termică pură, care produce leziunile retiniene dezirabile.
- LASERUL permite operatorului să aplice spoturi multiple simultan, cu o singură apăsare de pedală, într-o secvență predeterminată (*pattern*). Avantajele sunt reprezentate de o aplicare mai precisă și rapidă, cu mai puțină durere pentru pacient.
- Pentru LASER grid macular, *tehnica single-spot* pare să fie mai sigură datorită riscului ca pacientul să miște ochiul în timpul tratamentului.
- Eficacitatea clinică a fotocoagulării pattern în pulsuri scurte a fost demonstrată și în edemul macular asociat ocluziei de ram venos retinian.
  - Folosind OCT spectral domain și sensibil la polarizare s-a demonstrat o imediată remodelare tisulară.
  - Nu au fost observate pierderi de fotoreceptori la oameni prin imagistică cu optică adaptativă în urma acestui tip de LASER.
- Studii comparative între fotocoagulatorul Pascal și laserele convenționale au arătat că **tratamentul efectuat cu LASERUL Pascal este sigur, rapid, eficient, cu o curbă de învățare rapidă și timp scurt de expunere.** Deși durata mai scurtă a pulsurilor de la LASERUL Pascal necesită energie mai mare, aceasta nu se asociază cu efecte adverse.

TEHNICA PRIN DIODA MICROPULSATĂ SUB-PRAG (SDM)

- Presupune aplicarea de spoturi micropulsate de intensitate joasă, care, absorbite selectiv de către epiteliul pigmentar retinian, nu îl lezează în manieră detectabilă.
  - Tratamentul de joasă intensitate este amplificat și maximizat de plasarea unor spoturi confluente (tratament de intensitate crescută) pe întreaga zonă de patologie retiniană.
- SDM nu are efecte adverse și s-a dovedit mai eficient în tratamentul edemului macular diabetic decât fotocoagularea laser convențională. În absența leziunilor retiniene, potențialul pentru retratament cu SDM este nelimitat.
  - SDM poate fi folosită singură sau în combinație cu farmacoterapia pentru controlul bolii retiniene.
  - SDM s-a dovedit eficientă pentru tratamentul edemului macular diabetic, al retinopatiei diabetice proliferative, ocluziei de vână centrală retiniană, corioretinopatiei seroase centrale și altele.

TEHNICA FOTOCOAGULĂRII LASER NAVIGATE

- Tratamentul LASER al polului posterior (atât focal cât și grid) se poate face acum cu fotocoagulare asistată cu dispozitive de urmărire oculară.
- **Fotocoagularea LASER navigată este o tehnică sigură care crește semnificativ acuratețea tratamentului laser retinian, fiind utilă în mod**

Scanned with OKEN Scanner

special în fotocoagularea focală, unde țintirea precisă a modificărilor (microanevrisme diabetice) este crucială.

Acuratețea livrării LASERULUI este foarte mare, 96% din aplicațiile LASER fiind făcute în limita a 100 microni față de țintă. Datorită imagisticii asociate acestei tehnici, nu este necesară folosirea unei lentile de contact, fotocoagularea putând fi urmărită pe ecranul unui computer.

PANFOTOCOAGULAREA RETINIANĂ

Panfotocoagularea (PFC) laser convențională cu spoturi unice

- **Panfotocoagularea retiniană este tratamentul de elecție inițial pentru retinopatia diabetică proliferativă cu risc crescut și complicațiile sale, precum rubeoza iriană.**
- ***Panfotocoagularea retiniană se face cu următorii parametri recomandați:***
  - ***spot cu dimensiunea de 500 microni***
  - ***spațiere între spoturi de jumătate din dimensiunea unui spot***
  - ***durata de expunere 100–200 ms.***
  - ***Albirea retinei este determinată de leziunile termice în care temperatura crește cu 20–30°C față de temperatura bazală a corpului.***
- ***Se aplică un pattern de 1200–1500 spoturi pentru a reduce numărul fotoreceptorilor metabolic activi și al consumului total de oxigen al retinei externe.***
- După panfotocoagulare se constată o regresie semnificativă a factorilor de risc pentru retinopatie.
- Panfotocoagularea–light pentru a reduce efectele secundare ale panfotocoagulării intense.
  - Au fost încercate și alte tipuri de LASER: orange dye (600 nm) LASER, roșu (630 nm) și galben (580 nm), krypton LASER, dioda LASER, și LASER Nd:YAG cu dublă frecvență.
- Panfotocoagularea cu sisteme LASER convenționale determină o varietate de efecte secundare:
  - pierderi periferice de câmp vizual
  - scăderea vederii centrale și periferice datorită distrugerii țesutului retinian
  - procedura poate fi dureroasă pentru pacienți și este de obicei împărțită în câteva sesiuni.
- Panfotocoagularea semiautomată cu pulsuri scurte este acum disponibilă folosind fotocoagulatorul PASCAL. Panfotocoagularea pattern necesită timp mai scurt de tratament și determină mai puțină durere decât panfotocoagularea cu LASERE convenționale.

Scanned with OKEN Scanner

PANFOTOCOAGULAREA CU DIODA MICROPULSATĂ SUB-PRAG

- A fost utilizată după ce eficacitatea acestei tehnici a fost dovedită în edemul macular diabetic. Raționamentul este că fiziopatologia retinopatiei diabetice este aceeași în toate zonele retinei. În mașulă ea se manifestă prin apariția edemului macular sau, mai rar, a ischemiei maculare. În restul retinei se manifestă prin ischemie care conduce la neovascularizație.
- Răspunsul clinic la panfotocoagularea prin SDM este mai redus decât la panfotocoagularea convențională, dar similar în eficacitate cu terapia anti-VEGF
  - s-a constatat o scădere a ratei de progresie a retinopatiei diabetice neproliferative către retinopatia diabetică proliferativă
  - nu au fost evidențiate complicații sau efecte adverse și nici leziuni induse de laser, vizibile pe angiofluorografie.
- Toate metodele terapeutice pentru retinopatia diabetică, incluzând fotocoagularea retiniană și farmacoterapia intravitreană, încetinesc, opresc sau determină reversia progresiei bolii.

PANFOTOCOAGULAREA LASER NAVIGATĂ

- Panfotocoagularea retiniană este posibilă acum cu ajutorul sistemelor de *eye-tracking* (urmărire în timp real a ochiului).
- În cazul panfotocoagulării navigate se folosește o lentilă de contact cu câmp larg de vizualizare, spre deosebire de fotocoagularea focală navigată a polului posterior (unde nu este necesară folosirea lentilei).
- Sistemul LASER folosește un pattern de aplicare a spoturilor LASER, controlat de operator.
- Spre deosebire de LASERELE *pattern* micropulsate, în panfotocoagularea navigată se pot folosi spoturi cu durata de 100 ms, folosind astfel criteriile inițiale din studiile clinice randomizate.
- Cicatricile LASER rezultate prin panfotocoagularea navigată sunt mai uniforme.

FOTOCOAGULAREA RETINIANĂ ȚINTITĂ (FRT)

- Are ca scop blocarea unei ținte anume:
  - fotocoagularea vaselor principale din neovascularizația coroidiană
  - fotocoagularea laser focală din tratamentul edemului macular diabetic a punctului de fugă din corioretinopatia seroasă centrală
  - terapia LASER retiniană selectivă a zonelor de non-perfuzie capilară.
- Scopul este de a trata zonele retiniene ischemice și zonele adiacente care manifestă *leakage* pe angiografie, dar minimizând riscurile și complicațiile panfotocoagulării convenționale.

Scanned with OKEN Scanner

  - Angiografia cu fluoresceina wide-field este de mare utilitate în evidențierea zonelor de ischemie periferică.
- Fotocoagularea retiniană țintită pentru retinopatia diabetică proliferativă, folosind LASERUL micropulsat (20 ms) PASCAL nu a determinat creșterea grosimii maculare și, paradoxal, a îmbunătățit grosimea retiniană centrală și sensibilitatea câmpului vizual, cu regresia rezonabilă a neovascularizației.
  - FRT este probabil mai puțin eficientă în ocluzia de venă centrală retiniană, datorită ischemei de alt tip decât cea din retinopatia diabetică.
- Fotocoagularea retiniană focală (țintită) se folosește cu succes în corioretinopatia seroasă centrală în care s-au pus în evidență unul sau mai multe puncte de fugă cu ajutorul angiografiei cu fluoresceină.
  - Parametrii utilizați cel mai frecvent sunt: spot cu dimensiunea de 100 microni, durata 0,1 secunde și putere reglată astfel încât să se obțină o albire ușoara a zonei de tratat.

TEHNICA FOTOCOAGULĂRII LASER RETINIENE

- Tratamentul LASER retinian se poate face sub anestezie topică (cel mai frecvent), dar și peribulbară sau retrobulbară.
- Pentru sistemele LASER atașate unui biomicroscop, se folosesc lentile de contact de două tipuri:
  - lentile planconcave cu putere negativă: oferă o imagine neinversată de rezoluție superioară a unei arii mici retiniene, și sunt preferate în tratamentul LASER al maculei. Lentilele de acest tip cu oglindă permit și tratamentul zonelor retiniene periferice, și nu măresc spotul LASER (dimensiunea spotului retinian este egală cu dimensiunea aleasă din aparat).
  - lentile cu putere dioptrică pozitivă mare: oferă o imagine inversată, cu rezoluție mai mică, dar cu câmp larg de vizualizare, fiind ideale pentru panfotocoagulare. Determină o mărire a spotului LASER, în funcție de puterea lentilei folosite.
- Principalele tipuri de lentile folosite în tratamentul LASER retinian sunt:
  - *Mainster focal grid* (1,05), *Volk area centralis* (1,0) și lentila Goldmann cu trei oglinzi (1,08) – acestea nu induc mărire semnificativă
  - *Quadraspheric* (1,92)
  - *SuperQuad* 160 (2,0)
  - *Ultrafield* (1,89) necesită o reducere la jumătate a fasciculului.

PARAMETRI ȘI INDICAȚII

- Setarea parametrilor LASER depinde de:
  - zona care intenționează să fie tratată;
  - claritatea mediilor oculare;
  - pigmentarea fundului de ochi.

Scanned with OKEN Scanner

- **Un spot de dimensiune mai mică necesită o energie mai mică decât un spot mare, iar o expunere de durată mare necesită mai puțină energie decât o expunere de scurtă durată pentru obținerea aceluiași efect.**

LASERUL MACULAR

- **Fotocoagularea LASER în zona macular**ă are încă un rol bine definit în:
  - **unele forme de edem macular**
  - **membrana neovasculară coroidiană extrafoveală**
  - **anomalii ale epiteliului pigmentar retinian asociate cu leakage** (precum în corioretinopatia seroasă centrală).
- Pentru a evita apariția unor scotoame centrale și închiderea capilarelor perifoveale, trebuie evitată aplicarea laserului într-o rază de 500 µm de centrul foveei.
- În general, se folosesc spoturi de dimensiuni mici (100–200 µm), cu durată mică (≤0,1 secunde) pentru a obține niște arsuri de intensitate mică.

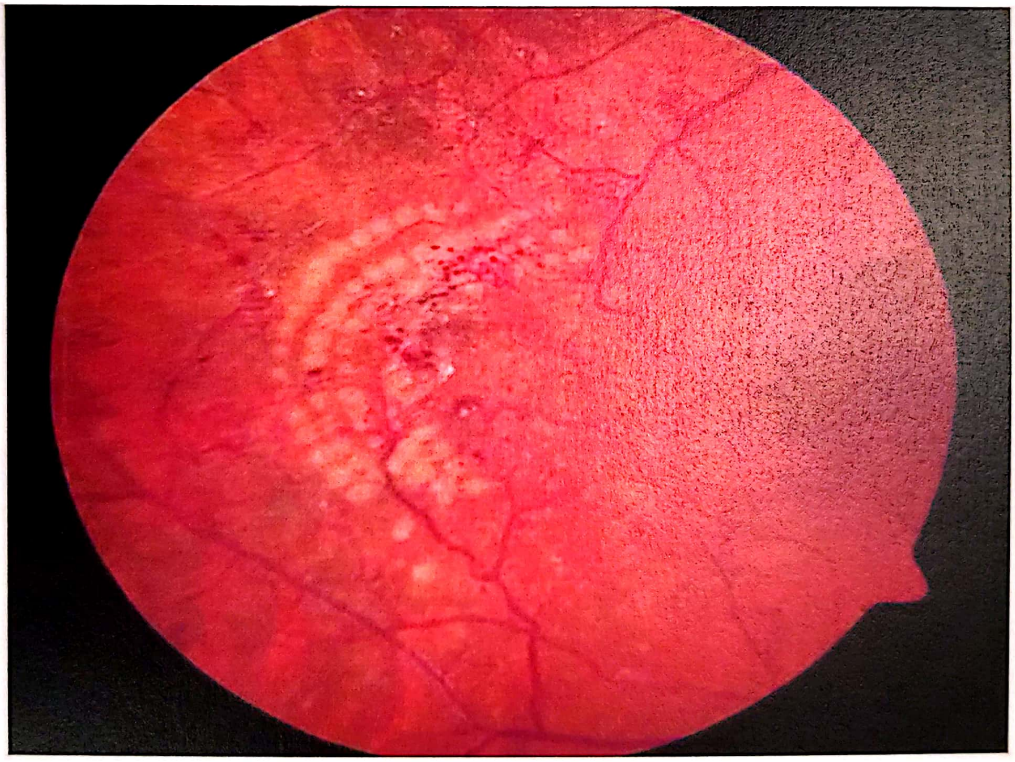


Figura 1. LASER grid macular aplicat într-o maculopatie diabetică cu *leakage*.

- În maculopatie diabetică cu edem macular, tratamentul laser cu LASER verde sau galben țintește toate microanevrismele care exudează, localizate între 500 și 3000 µm de centrul maculei.
- Leakage difuz sau zone de nonperfuzie capilară necesită tratament LASER grid pe zonele situate la mai mult de 500 µm de centrul maculei și la mai mult de 500 µm de marginea temporală a discului optic.
- În cazul edemului macular din obstrucțiile venoase retiniene se folosește un tratament LASER similar.

Scanned with OKEN Scanner

- Dacă se tratează o membrană neovasculară coroidiană sau puncte de fugă situate la nivelul epiteliului pigmentar retinian, scopul este să se obțină o arsură mai intensă a punctului sau zonei de tratat.
- Tratamentul LASER în zona maculară trebuie făcut cu atenție, deoarece, în timp, cicatricile LASER au tendința să-și dubleze sau chiar să-și tripleze dimensiunile și poate crește riscul apariției unei membrane neovasculare coroidiene la marginea acestor cicatrici LASER maculare.
- **Tratamentul LASER al zonei maculare** se poate face și cu ajutorul unui **fotocoagulator PASCAL**, care este un sistem semi-automat de LASER pattern scan ce realizează fotocoagularea într-un anumit *pattern* de tratament (spoturi multiple aranjate într-o manieră presetată, livrate simultan).

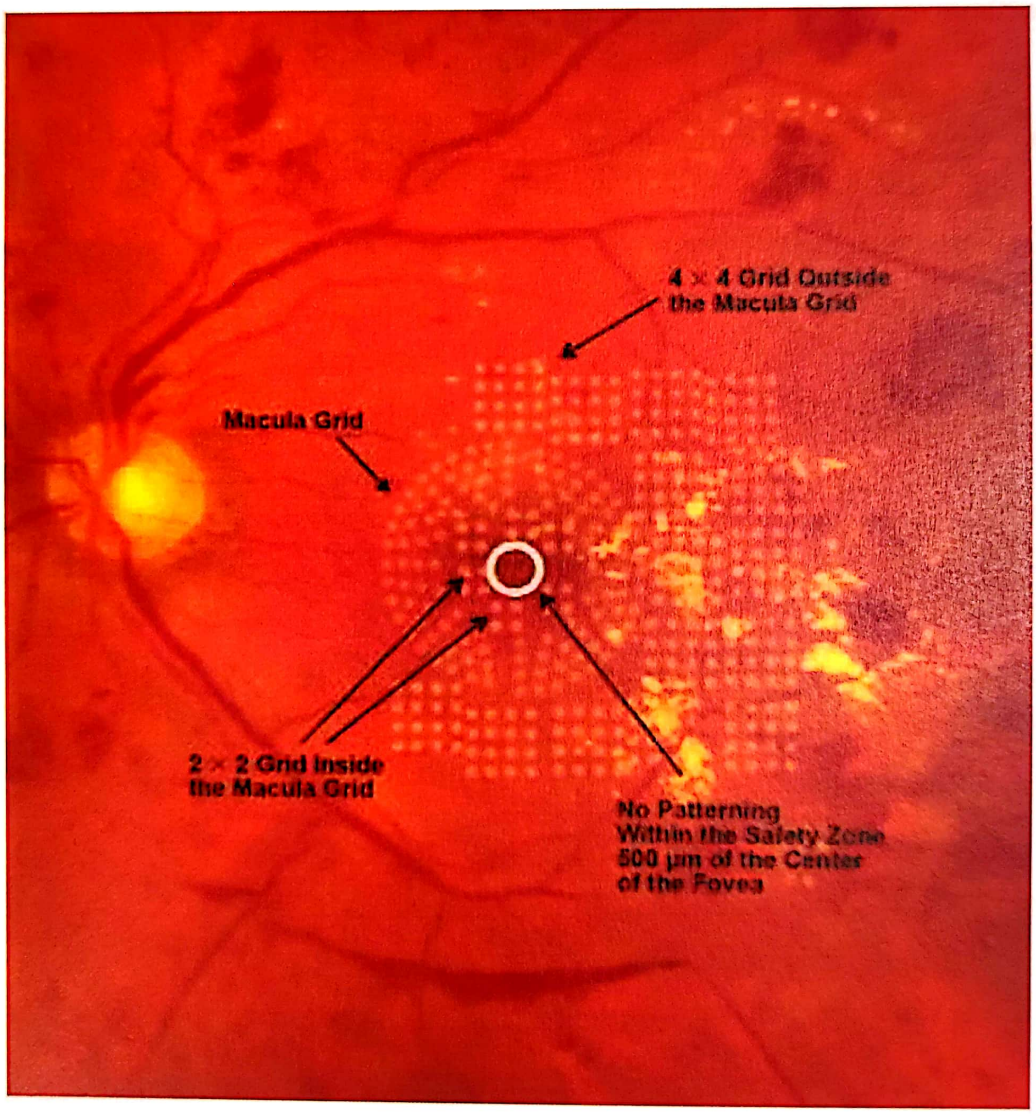


Figura 2. LASER grid macular aplicat cu fotocoagulatorul PASCAL.

Indicațiile panfotocoagulării retiniene sunt reprezentate de:
- retinopatia diabetică proliferativă
- neovascularizația iriană
- retinopatia diabetică neproliferativă severă la un pacient cu complianța redusă, înaintea efectuării operației de cataractă, la pacienți care

Scanned with OKEN Scanner

asociază și insuficiență renală, pacienți cu ochi unic sau paciente care doresc să fie sau sunt deja însărcinate.
- ocluzia de venă centrală retiniană sau de ram venos retinian
- retinopatia din siclemie
- boala Eales sau IRVAN (anevrisme vasculare intraretiniene și neuroretinita).

- În cazul panfotocoagulării LASER retiniene, scopul este de a obține arsuri mai intense, de dimensiuni mai mari; în acest scop se folosesc spoturi cu dimensiuni de 200–500 µm și putere ajustată pentru a obține spoturi alb-gălbui la nivelul retinei. Spoturile aplicate sunt separate de o distanță echivalentă cu o jumătate sau diametrul unui spot. Macula trebuie cruțată.
  - Unii medici preferă să lase 1–2 diametre papilare în afara maculei și papilei netratate, alții preferă să aplice spoturile laser până la marginea arcadelor vasculare și a papilei.
  - Se preferă ca în prima etapă să se trateze retina inferioară, în încercarea de a reduce pierderea temporală și inferioară de câmp vizual și pentru a facilita continuarea tratamentului în cazul producerii unei hemoragii vitreene.
  - Se recomandă evitarea pe cât posibil a meridianelor 3 și 9, acolo unde există fasciculele vasculo-nervoase ciliare, deoarece tratamentul poate fi dureros și afectarea nervilor ciliari lungi poate determina o serie de probleme pe termen lung (cicloplegie severă care afectează vederea la aproape, pareza sfincterului pupilar, cu midriază).
  - Preferabil, edemul macular diabetic se tratează înaintea începerii panfotocoagulării, deoarece panfotocoagularea de regulă determină o exacerbare a edemului macular.
- În panfotocoagularea retiniană periferică se aplică 1200–1400 spoturi cu dimensiunea de 500 µm, împărțite în cel puțin două ședințe. Parametrii inițiali folosiți cel mai frecvent sunt: spot cu dimensiunea 300 µm, durata de 0,1 secunde și puterea de 200 mW.

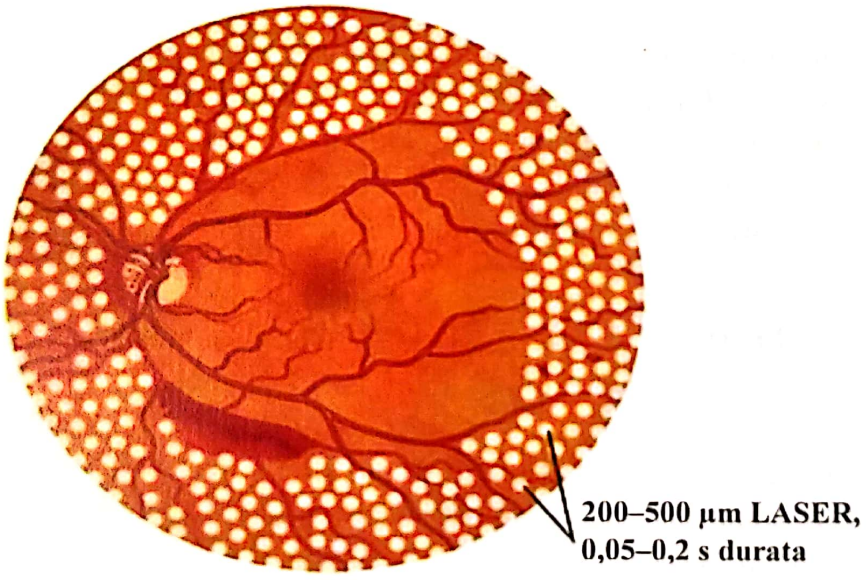


Figura 3. Reprezentare schematică a panfotocoagulării LASER retiniene în retinopatia diabetică proliferativă.

Scanned with OKEN Scanner

FOTOCOAGULAREA LASER A RETINEI PERIFERICE

- Se poate realiza cu un LASER plasat pe biomicroscop sau pe oftalmoscopul indirect.
- Pentru tratamentul rupturilor retiniene sau al unei dezlipiri de retină mici, localizate, se folosește tratamentul LASER, cu scopul obținerii unor cicatrici care realizează o adeziune între retină și epiteliul pigmentar retinian. Se folosesc spoturi cu dimensiunea de 200–500 μm pentru a obține o reacție albicioasă la nivelul retinei și se înconjoară ruptura sau zona de dezlipire retiniană cu 2–3 rânduri de spoturi confluente.

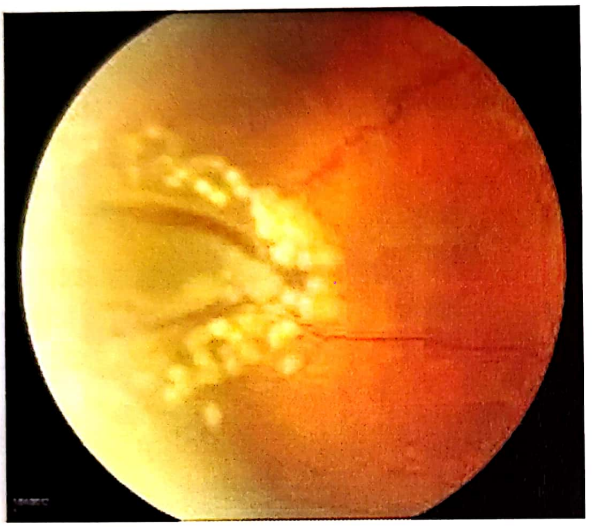


Figura 4. Ruptura retiniană periferică.

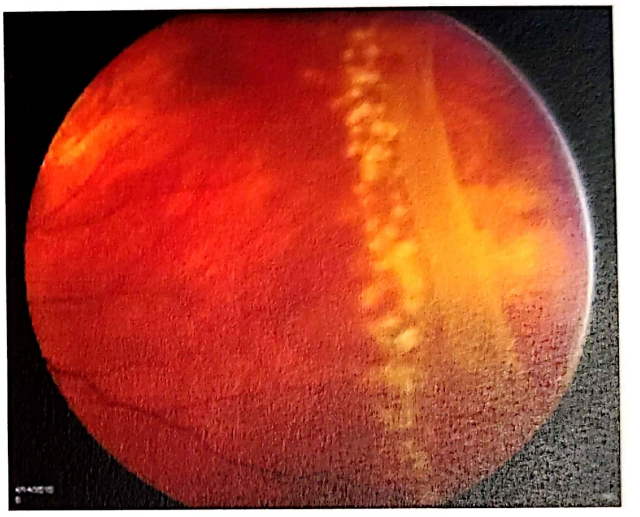


Figura 5. Baraj LASER DR.

ABLAREA LASER A LEZIUNILOR VASCULARE RETINIENE

- Se face folosind spoturi de dimensiune mare (>500 μm), putere redusă și durată mare, astfel încât să se obțină coagularea dinspre interior spre exterior a leziunii. Arsurile de intensitate mare determină de regulă o albire a suprafeței leziunii, după care fasciculul LASER nu mai penetrează bine, ceea ce nu permite tratamentul eficient al leziunii.

COMPLICAȚIILE FOTOCOAGULĂRII

- Cele mai severe complicații se datorează folosirii unei energii prea mari sau unui fascicul prost direcționat:
  - arsuri corneene (care pot evolua cu formarea de leucoame);
  - irita și zone de atrofie iriană;
  - anomalii pupilare (prin lezarea nervilor ciliari lungi);
  - opacități cristaliniene (prin absorbția energiei LASERULUI de către pigmenții din cristalin);

Scanned with OKEN Scanner

- neuropatie optică (prin tratamentul direct al papilei sau al zonei peripapilare imediate);
- arsuri foveale;
- rupturi ale membranei Bruch;
- apariția unor leziuni retiniene sau coroidiene;
- decolare exudativă de coroidă sau retină.

Arsurile accidentale ale zonei foveale

- Trebuie avută foarte multă grijă pentru identificarea zonei maculare înaintea începerii tratamentului LASER, pentru a evita consecințele grave ale tratării accidentale ale acestei zone. În cazul în care pacientul mișcă brusc și mult ochiul în timpul tratamentului, se pot aplica accidental spoturi în zona foveală. În unele cazuri (pacienți non-complianți) se poate face anestezie peribulbară sau retrobulbară înaintea tratamentului LASER, mai ales dacă urmează a fi tratate zone juxtamaculare.

Rupturile membranei Bruch

- Folosirea unor spoturi mici, de putere mare și durată mică, crește riscul formării de rupturi ale membranei Bruch, care pot determina ulterior hemoragii subretiniene sau apariția unei membrane neovasculare coroidiene.

Leziuni retiniene

- Fotocoagularea intensă poate determina formarea unor găuri retiniene, sau a proliferării subretiniene fibroase intense, striuri retiniene cu deformarea foveei, ceea ce duce la apariția metamorfopsiilor sau chiar a diplopiei. Se pot produce mici rupturi vasculare, cu hemoragie intraretiniană sau vitreană. Panfotocoagularea retiniană poate exacerba edemul macular preexistent la pacienții cu retinopatie diabetică.

Leziuni coroidiene

- Tratamentul laser al membranelor neovasculare coroidiene se poate complica cu hemoragii subretiniene, ischemie coroidiană, apariția unei membrane neovasculare coroidiene secundare sau anastomoze coroidiene.
  - Dacă în timpul tratamentului se produce o hemoragie subretiniană, se recomandă creșterea presiunii prin apăsarea lentilei de contact pe ochi, în timp ce se continuă tratamentul părții rămase din membrana neovasculară coroidiană.
- Cicatricile LASER se pot mări în timp prin atrofia epiteliului pigmentar retinian.
- Fotocoagularea LASER se poate complica și cu rupturi ale epiteliului pigmentar retinian.

Decolări exudative de coroidă și retină

- Fotocoagularea laser prea intensă poate determina apariția edemului coroidian masiv, și chiar a decolării exudative de coroidă și/sau retină.

Scanned with OKEN Scanner

  - Decolarea exudativă de coroidă poate duce la îngustarea camerei anterioare prin rotarea anterioară a corpului ciliar și la direcționarea greșită a umorii apoase, cu creșterea severă a presiunii intraoculare.
  - Vârful maxim al acestor incidente se situează la 1–3 zile după tratament, iar rezoluția lor, care este spontană, se produce în decurs de câteva săptămâni.
- În exudațiile masive pot fi utili corticosteroizii.
- Evitarea complicațiilor fotocoagulării LASER se realizează printr-o alegere atentă a parametrilor de tratament, prin instruirea pacientului și poziționarea confortabilă a acestuia.

TERMOTERAPIA TRANSPUPILARĂ (TTT)

- Actionează prin creșterea ușoară a temperaturii coroidiene, ceea ce determină leziuni minime termice la nivelul EPR și retinei supraiacente. TTT se administrează cu un LASER infraroșu (810 nm), cu dimensiuni ale fasciculului de 0,8–3 m, puteri între 250 și 750 mW și timp de expunere de 1 minut.
- Este considerată terapia de sine-stătătoare pentru melanoame coroidiene mici, plate. Pentru tumorile mai mari se folosește în combinație cu brahiterapia.
  - O altă indicație de tratament pentru TTT era reprezentată de membranele neovasculare coroidiene, dar aici TTT a pierdut teren în favoarea substanțelor anti-VEGF.

TERAPIA FOTODINAMICĂ

- Folosește o substanță fotosensibilizantă, verteporfirina, pentru tratamentul anumitor tipuri de membrană neovasculară coroidiană subfoveală din degenerescența maculară legată de vârstă, miopie și sindromul de histoplasmoză oculară.
- O dată cu apariția farmacoterapiei intravitreene cu agenți anti VEGF, terapia fotodinamică a pierdut teren. Continuă să fie folosită cu succes pentru anumite tipuri de tumori intraoculare și unele cazuri de corioretinopatie seroasă centrală, sau la pacienții care refuză terapia intravitreană sau ca tratament adjuvant în administrarea intravitreană a agenților anti VEGF.
- Terapia fotodinamică este o procedură în doi pași: inițial se administrează intravenos o substanță fotosensibilizantă care aderă de celulele endoteliale ale vaselor din membranele neovasculare și tumori, apoi se activează local substanța fotosensibilizantă cu ajutorul unui laser cu lungime de undă absorbită de substanța respectivă.
  - Laserul de intensitate mică determină apariția unei reacții fotochimice cu apariția de radicali liberi și specii reactive de oxigen, care determină leziuni endoteliale, aderență plachetară, tromboză vasculară și închiderea capilarelor.

Scanned with OKEN Scanner

- Avantajul principal al terapiei fotodinamice este reprezentat de cruțarea țesutului sănătos.
- **Indicațiile terapiei fotodinamice: ochii cu membrană neovasculară coroidiană clasică care nu depășește 5400 mm și care au acuitate vizuală mai bună sau egală cu 1/10.**
- Tehnică de efectuare:
  - se injectează verteporfirina în doză de 6 mg/kgc în 10 minute, iar după alte 5 minute se administrează laserul unei zone cu 1000 mm mai mare decât cel mai mare diametru al membranei neovasculare coroidiene timp de 83 secunde. Retratarea leziunilor persistente sau nou apărute se poate face la interval de 3 luni.
- Complicațiile terapiei fotodinamice
  - cele mai frecvente sunt reacțiile de fotosensibilizare la nivelul tegumentului expus la soare (mergând de la arsuri ușoare la arsuri de gradul II). Se recomandă pacienților care efectuează terapie fotodinamică să evite expunerea la lumina solară timp de 5 zile după tratament.
  - sunt posibile și reacții adverse ale administrării de verteporfirină precum:
    - durerile de spate;
    - dureri în piept;
    - scăderi tranzitorii ale acuității vizuale (care apar la 2–2,5% din pacienții tratați)
- Administrarea înaintea terapiei fotodinamice de steroizi intravitreeni oferă rezultate superioare.

ENDOFOTOCOAGULAREA LASER DIN TIMPUL VITRECTOMIEI

- Există situații în care, în timpul vitrectomiei, se recomandă aplicarea fotocoagulării LASER. Aceasta se realizează cu ajutorul unei fibre de endolaser, în prezent existând fibre cu dimensiuni de 25G sau 27G, drepte sau curbe, cu sau fără endoiluminare asociată.
- Indicațiile sunt reprezentate de:
  - vitrectomia în retinopatia diabetică proliferativă netratată sau parțial tratată cu panfotocoagulare;
  - tratamentul rupturilor retiniene sau al retinotomiilor;
  - endofotocoagularea focală a microanevrismelor care exudează etc.

VITREOLIZA LASER ND:YAG

- Este o procedură care se efectuează în ambulator, foarte eficientă, ce presupune folosirea unui YAG nano-pulsat pentru a vaporiza opacități și filamente vitreene. Are o rată mică de complicații și dă un grad crescut de satisfacție a pacienților. Poate îndepărta sau temporiza necesitatea unei intervenții chirurgicale de îndepărtare a opacităților vitreene deranjante pentru pacient.

Scanned with OKEN Scanner

Figura 7. Endofotocoagulare LASER în timpul vitrectomiei.

- Folosind o lentilă de contact, LASERUL YAG este focalizat pe suprafața anterioară a opacității vitreene. Laserul emite un puls scurt de 3 nanosecunde de energie, care transformă moleculele de colagen și acid hialuronic în gaz, care este apoi resorbit în ochi.
- În ciuda faptului că vitreoliza este o procedură relativ simplă, cu o mare satisfacție a pacientului, continuă să fie rar folosită și predată. Motivele ar fi reprezentate de credința că opacitățile vitreene sunt benigne și nu necesită tratament.
- **Spre deosebire de vitrectomie, care are un risc mai crescut de sângerare și infecție, vitreoliza este o procedură noninvazivă, nedureroasă, care elimină tulburările vizuale datorate opacităților vitreene.**
- Indicațiile pentru vitreoliză laser sunt reprezentate de: opacități vitreene de tipul inelului Weiss, determinate de o decolare posterioară de vitros, deoarece aceste opacități vitreene sunt fibroase, absorb bine energia laserului și pot fi vaporizate mai eficient. De obicei ele sunt localizate la o distanță sigură față de cristalin și retină. Opacitățile difuze sunt mai greu de tratat și se recomandă a se încerca acest lucru doar după acumularea unei experiențe suficiente cu acest tip de laser.

Scanned with OKEN Scanner

Principii de tratament

- Deoarece energia LASER necesară pentru vaporizarea opacităților vitreene trebuie să treacă prin mai multe medii optice, puterea necesară va fi puțin mai mare decât în cazul unei capsulotomii Nd:YAG:
  - se începe cu energie mică și se reglează până la obținerea efectului dorit
  - tratamentul se inițiază cu un singur puls per aplicare, cu energia la nivelul minim (de regula 3–4 mJ). Majoritatea tratamentelor se fac cu puteri de aproximativ 5 mJ, dar uneori poate fi necesară folosirea a 8–10 mJ.
- Dacă opacitatea vitreană este localizată profund în vitros, vaporizarea ei poate necesita energie mai mare. De exemplu, aceeași opacitate poate fi vaporizată cu 4 mJ când este situată în vitrosul anterior, 5 mJ când este situată în vitrosul mijlociu și 6 mJ când este situată în vitrosul posterior.
- Numărul de spoturi aplicate este variabil, în funcție de dimensiunea opacității vitreene. Totuși, se recomandă limitarea la un număr maxim de 300–400 spoturi per sesiune. Motivul este reprezentat de faptul că se acumulează bule de gaz în cavitatea vitreană care împiedică vederea până la resorbția lor.
- Este important să subliniem faptul că nu există o relație liniară între creșterea puterii LASERULUI și creșterea dispersării de energie din interiorul ochiului (de exemplu, pentru o dublare a puterii de la 5 mJ la 10 mJ, creșterea dispersiei de energie din ochi este de doar 40%).
- În prezența mai multor opacități, se recomandă să se înceapă tratamentul dinspre anterior spre posterior și dinspre superior înspre inferior (deoarece bulele de gaz formate pot împiedica buna vizualizare); se recomandă a se trata inițial opacitățile care pot fi vizualizate mai ușor.
- Trebuie evitat tratamentul opacităților situate prea aproape de retină (mai ales de macula) și de cristalin.
- Complicațiile vitreolizei Nd:YAG cel mai frecvent întâlnite sunt reprezentate de:
  - apariția cataractei;
  - perforarea capsulei posterioare cristaliniene;
  - rupturi retiniene;
  - hemoragii intraretiniene.

BIBLIOGRAFIE

1. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group Techniques for scatter and local photocoagulation treatment of diabetic retinopathy. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Report Number 3. Int Ophtalmol Clin. 1987;27(4):254–264. (Pub.Med.).
2. Macula Photocoagulation Study Group Argon LASER photocoagulation for senile macular degeneration: results of a randomized clinical trial. Arch Ophthalmol. 1982;100(6):912–918. (Pub.Med.).
3. LIPSĂ
4. Morgan C.M., Schatz H. Atrophic creep of the retinal pigment epithelium after focal macular photocoagulation. Ophthalmology. 1989;96(1):96–103. (Pub.Med.).

Scanned with OKEN Scanner

5. McDonald H.R., Schatz H. Macular edema following panretinal photocoagulation. Retina. 1985;5(1):5–10. (Pub.Med.).
6. McDonald H.R., Schatz H. Visual loss following panretinal photocoagulation for proliferative diabetic retinopathy. Ophthalmology. 1985;92(3):388–393. (Pub.Med.).
7. Akduman L., Olk R.J. Subthreshold (invisible) modified grid diode LASER photocoagulation in diffuse diabetic macular edema (DDME) Ophthalmic Surg Lasers. 1999;30(9):706–714. (Pub.Med.).
8. Olk R.J.,Friberg T.R., Stickney K.L., Akduman L., Wong K.L., Chen M.C. Ophthalmology. 1999;106(11):2082–2090. (Pub.Med.).
9. Luttrull J.K., Dorin G. Subthreshold diode micropulse photocoagulation as invisible retinal phototherapy for diabetic macular edema. A review. Curr Diab Rev. 2012;8:274–284. (PMC free article)(Pub.Med.).
10. Vujosevic S., Bottega E., Casciano M., Pilotto E., Convento E., Midena E. Microperimetry and fundus autofluorescence in diabetic macular edema. Subthreshold micropulse diode laser versus modified Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Laser photocoagulation. Retina. 2010;30:908–916. (Pub.Med.).
11. Roider J., Brinkmann R., Wirbelauer C., Laqua H., Birngruber R. Subthreshold (retinal pigment epithelium) photocoagulation in macular diseases: a pilot study. Br.J. Ophthalmol. 2000;84(1): 40–47. (Pub.Med.).
12. Brinkmann R., Roider J., Birngruber R. Selective retina therapy (SRT): a review on methods, techniques, preclinical and first clinical results. Bull Soc Belge Ophthalmol. 2006;302:51–69. (Pub.Med.).
13. Kwon H.J., Ko J.S., Kim M., Lee C.S., Lee S.C. Prognosis of choroidal melanoma and the result of ruthenium bravhytherapy combined with transpupillary thermotherapy in Korean patients. Br.J. Ophthalmol. 2013;97(5):653–658. (Pub.Med.).
14. Squirrell D.M., Stewart A.W., Joondeph B.C. Large-spot subthreshold infrared LASER to treat diabetic macular edema. Retina. 2008;28(4):615–621. (Pub.Med.).
15. Bressler N.M. treatment of age-related macular degeneration with photodynamic therapy (TAP) Study group. Arch Ophthalmol. 2001;119(2):198–202. (Pub.Med.).
16. Luttrull J.K., Spink C.J. Prolonged choroidal hypofluorescence following verteporfin photodynamic therapy combined with intravitreal triamcinolone acetonide injection. Retina. 2007;27(6):688–692. (Pub.Med.).
17. Muqit M.M., Marcellino G.R., Gray J.C., McLauchlan R., Henson D.B., Young L.B. Pain responses of Pascal 20 ms multi-spot and 100 ms single-spot panretinal photocoagulation: Manchester Pascal Study, MAPASS report 2. Br.J. Ophthalmol. 2010;94(11)1493–1498. (Pub.Med.).
18. Kernt M., Cheuteu R., Vounotrypidis E., Haritoglou C., Kampika A., Ulbig M.W. Focal and panretinal photocoagulation with a navigated laser (NAVILAS®) Acta Ophtalmol. 2011;89(8):662–664. (Pub.Med.).
19. Kernt M., Cheuteu R.E., Cserhati S., Seidensticker F., Liegl R.G., Lang J. Pain and accuracy of focal laser treatment for diabetic macular edema using a retinal navigated LASER (Nacilas) Clin Ophtjalmol. 2012;6:289–296. (Pub.Med.).
20. Ober M.D., Kernt M., Cortes M.A., Kozak I. Time required for navigated macular laser photocoagulation treatment with the Nacilas. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2013;251(4):1049–1053. (Pub.Med.).
21. Sanghvi C., McLauchlan R., Delgado C., Young L., Charles S.J., Marcellino G. Initial experience with the Pascal photocoagulator: a pilot study of 75 procedures. Br. J. Ophthalmol. 2008;92(8):1061–1064. (Pub.Med.).
22. Modi D., Chiranand P., Akduman L. Efficacy of patterned scan laser in the treatment of macular edema and retinal neovascularization. Clin Ophthalmol. 2009;3:465–470. (Pub.Med.).
23. Rufer F., Flohr C.M., Poerksen E., Roider J. Retinal LASER coagulation with the pattern scanning LASER-report of first clinical experience. Klin Monbl Augenheilkd. 2008;225(11)968–972. (Pub.Med.).
24. Plitcher J.D., Liu T., Prasad P.S., Schwartz S.D., Hubschman J.P. Short-duration focal pattern grid photocoagulation for macula edema secondary to branch retinal vein occlusion. Semin Ophthalmol. 2012;27(3–4):69–72. (Pub.Med.).

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 11

NEOVASCULARIZAŢIA RETINIANĂ ŞI COROIDIANĂ

ANDREEA GABRIELA MOCANU

IMPLICAŢII IMUNOHISTOCHIMICE ŞI BIOMOLECULARE ÎN ANGIOGENEZA OCULARĂ

- Neovascularizaţia retiniană şi retinita proliferantă au fost pentru mult timp considerate ca fiind rezultatul organizării hemoragiilor intravitreene. De abia în ultima jumătate a secolului XX s-a dovedit că ele precedă apariţia hemoragiilor intraoculare, reprezentând în fapt cauza acestora.
  - **Producerea neovaselor retiniene apare ca o consecinţă a scăderii aportului de sânge, în raport cu o circulaţie deficitară la nivel retinian sau coroidian; pentru a restabili echilibrul intervin două mecanisme vasculare: circulaţia colaterală şi neovascularizaţia.**
- **Circulaţia colaterală de supleare** se dezvoltă când sângele datorită creşterii presiunii în sectorul periferic părăseşte venele şi penetrează în sectorul capilar preexistent, unde presiunea este mai scăzută. Vasele de tip colateral unesc vasele obstruate cu vasele adiacente rămase permeabile [1].
- **Neovascularizaţia este consecinţa directă a ischemiei; există o relaţie directă între mărimea zonelor de nonperfuzie şi apariţia vaselor de neoformaţie.**
  - Pentru iniţierea procesului de neovascularizaţie este necesară prezenţa unui stimul vasoformator. Stimulii vasoformatori apar la nivelul zonelor ischemice, în relaţie cu metabolismul alterat al celulelor retiniene sau coroidiene afectate, iar în cazul proceselor tumorale, o parte din factorii neoformatori sunt specifici celulelor modificate din structura acestora.
  - Neovasele se nasc din venule tributare zonelor de ocluzie şi din colateralele care le înconjoară [2]. Ele dau naştere la capilare vecine prin burjonare, caracterizate de proliferarea celulelor endoteliale, care apare înainte de instalarea fenomenelor de neovascularizaţie.

Scanned with OKEN Scanner

- **Neovasele au perete foarte fragil, ceea ce explică incidenţa crescută a hemoragiilor şi complicaţiile determinate de prezenţa acestora. Din punct de vedere structural, peretele neovaselor este lipsit de celule murale, iar membrana bazală este puţin dezvoltată.**
- Primele semne de suferinţă a celulelor endoteliale sunt manifestate prin alterări citoplasmatice şi degenerescenţa membranei bazale.
- Consecinţă directă a ischemiei localizate este şi apariţia nodulilor vătoşi, interpretaţi ca întreruperea fluxului axoplasmic la nivelul straturilor fibrelor ganglionare [3]. Aceasta corespunde clasic absenţei perfuziei în teritoriul capilar aflat sub dependenţa unei arteriole precapilare.

• Din punct de vedere anatomofiziologic neovasele segmentului ocular posterior se pot dezvolta în două compartimente distincte: retinian si coroidian.
- **Neovascularizaţia retiniană** – neovasele se dezvoltă de elecţie la nivel preretinian, după un foarte scurt traiect intraretinian; ele sunt situate în straturile cele mai interne ale retinei sau la nivelul feţei anterioare a acesteia, în zone în care de regulă nu se găsesc vase retiniene. În evoluţie penetrează membrana limitantă internă, dezvoltându-se spre vitros. Vasul de alimentare „*feeder*" se poate individualiza cu uşurinţă, fiind vorba de o arteriolă cu peretele foarte dilatat. La nivelul vaselor de alimentare, nivelul factorilor de creştere vasculară este foarte ridicat, fiind la fel de mare ca şi la nivelul vaselor de neoformaţie. Sunt descrise mai multe tipuri de retinită proliferantă, în care mecanismele fiziopatogenice se presupune a fi diferite. O formă unde proliferarea se face prin neovase cu lumen larg, acompaniate de o lamă fibroglială de proliferare foarte discretă şi o formă în care participarea fibroglială este foarte importantă, cu formarea unor veritabile membrane fibrovasculare asociate de retracţii ale limitantei interne şi decolare de retină.
- **Neovascularizaţia coroidiană** – se dezvoltă la nivelul stratului coriocapilar. Datorită studiilor histologice şi imunohistochimice, evidenţierea neovascularizaţiei coroidiene a fost pusă în evidenţă din ce în ce mai mult în ultimii ani în unele afecţiuni la care iniţial se nega existenţa acesteia (drepanocitoză). Neovascularizaţia la nivelul coroidei este de asemenea precedată de apariţia zonelor de ischemie coroidiană, caracterizate prin pierderea unui număr mare de capilare de la acest nivel şi prin dezorganizarea morfofuncţională a coriocapilarei [4].

• Secundar ischemiei retiniene, la nivel celular se produce acumularea de aminoacizi şi radicali liberi.
- **Acumularea de aminoacizi** determină mecanisme de excitotoxicitate. Între aminoacizii excitatori (AAE), glutamatul şi aspartatul reprezintă principalii neurotransmiţători la nivelul ţesuturilor retiniene şi nervoase. Rolul acestora în depolarizarea celulară şi excitaţia neuronală este cunoscut de mult timp; patru tipuri de receptori mediază acţiunea aminoacizilor: NMDA, kainat, AMPA şi metabotropina.
- În condiţii fiziologice, producţia de radicali liberi este contrabalansată de sistemele fiziologice de apărare (superoxid dismutaza SOD), catalaza, peroxidaza şi glutation peroxidaza şi de vitaminele E, A, C.

Scanned with OKEN Scanner

- **Efectul AAE şi al radicalilor liberi se cumulează în producerea leziunilor retiniene ischemice:** stimularea receptorilor la AAE în special NMDA, prin creşterea concentraţiei intracelulare de Ca^{2+}, antrenează eliberarea de radicali liberi, pe de o parte prin activarea fosfolipazei A2 şi de pe altă parte prin conversia xantindehidrogenazei în xantinoxidază. Datorită stimulării receptorilor nitricoxidazei secundare activării receptorilor NMDA, creşte producţia de NO (oxid nitric). Aceasta nu numai că va antrena sinteza de radicali liberi, dar va antrena şi un efect retrograd asupra extremităţii neuronale presi-naptice, accentuând eliberarea de AAE în fanta sinaptică.

- Alături de aceste două mecanisme principale celulare ale ischemiei retiniene, intervin deopotrivă şi alţi mediatori: acidul lactic, citokinele, PAF (platelet activating factor), factori de coagulare, mediatori eliberaţi de endoteliul vascular, factori de creştere, dereglarea expresivităţii genetice [8].
- Dintre numeroşii factori imunohistochimici implicaţi în procesele de vasculogeneză şi angiogeneză, cel mai cunoscut actual este factorul de creştere endotelială vasculară – **vascular endothelial growth factor – VEGF.**
  - VEGF este o glicoproteină cu masă moleculară mare care acţionează pe trei tipuri de receptori specifici care pot fi evidenţiaţi prin metode imunohistochimice la nivelul peretelui vascular: FLT-1 (VEGF receptor1), KDR/FLK-1 (VEGF receptor 2), FLT-4 (VEGF receptor 3).
  - Factorul de creştere endotelială are următoarele acţiuni biologice, modulate de stimularea unuia sau altora dintre receptorii săi:
    - creşte permeabilitatea celulelor endoteliale
    - stimulează procesul de proliferare şi migrare a celulelor endoteliale
    - inhibă fenomenele de apoptoză celulară la nivelul acestora
    - prin receptorul FLT-1 este implicat şi în procesele de formare „de novo" a vaselor sanguine [9].
- **Angiopoietina şi receptorii celulari** ai acesteia joacă de asemenea un rol deosebit de important în fenomenele de angiogeneză. Se cunosc actual două tipuri de receptori pentru angiopoietină (TIE 1 şi 2) şi conform cunoştinţelor actuale se pare că sunt specifici pentru endoteliul vascular. Studii genetice pe animale cu deficit al receptorului 1 pentru angiopoietină au relevat o perturbare a proceselor normale de formare şi dezvoltare a vaselor sanguine, cu compromiterea proceselor normale de vasculogeneză.
- **Factorul de creştere fibroblastică (*fibroblast growth factor*)** face parte dintr-o largă familie de polipeptide ubicvitare organismelor animale, implicate în procesele de creştere normală, cu rol de modulatori. Actual se cunosc două tipuri ale acestui factor (aFGF şi bFGF), având rol în modularea fenomenelor de angiogeneză *in vivo* şi *in vitro*. Astfel s-a demonstrat rolul ambelor tipuri în stimularea proceselor de proliferare endotelială, totodată cu accentuarea fenomenului de migrare celulară şi stimulare a distribuţiei spaţiale a celulelor endoteliale.
- **Factorul de creştere trombocitar (*plateleted-derived growth factor*)** iniţial a fost pus în evidenţă din celule trombocitare purificate, ulterior

Scanned with OKEN Scanner

fiind descris în multe alte tipuri celulare, incluzând celulele fibroblastice, mioblaşti, astrocite, keratinocite, celule epiteliale şi macrofagice. Rolul este de stimulare a sintezei de ADN la nivelul celulei endoteliale; stimulează proliferarea celulelor musculare netede şi a pericitelor, induce expresia factorului von Willebrand şi a factorului VEGF la nivel celular, creşte stabilitatea peretelui vascular. În vitro stimulează aranjamentul celular cu dispunerea acestora sub formă de cordoane celulare [10].

- **Factorul de transformare al creşterii (*transforming growth factor*)** este din punct de vedere biologic inactiv. Complexul latent este activat în diferite circumstanţe: acţiunea proteazică (catepsina, plasmina), pH scăzut, substanţe de tipul ureei şi temperatură crescută. La nivel vascular are rolul de inhibiţie al proliferării şi migrării celulelor endoteliale, efect chemotactic pentru monocite şi fibro-blaşti; inhibă producţia de proteaze având activitate proteolitică [11].
- **Factorul de necroză tumorală (*tumor necrosis factor*)** TNF-α intervine mai mult în procesele de angiogeneză din procesele neoformative, dar studiile imunologice l-au putut evidenţia şi în alte condiţii. Astfel, rolul de stimulare a angiogenezei *in vivo* este dovedit, cu un efect paradoxal însă de inhibare a proliferării celulelor endoteliale. In vitro sub acţiunea acestui factor se observă migrarea celulelor endoteliale cu dispunerea acestora sub formă de tubi.
  - **Angiogenina şi angiotropina** sunt polipeptide izolate din liniile adenocarcinoamelor umane, care acţionează in vivo; Ele se leagă la nivelul matricei extracelulare, având rol adjuvant în procesele de adeziune intercelulară şi de migrare a celulelor endoteliale. Este interesant, în pofida faptului că s-a demonstrat rolul angiogeninei în procesele de angiogeneză, aceasta este sintetizată în cantităţi nesemnificative în perioada de embriogeneză, când procesul are intensitatea maximă. Angiogenina este evidenţiată în schimb la adulţi, în procesele neoformative vasculare. Rolul acestor polipeptide este de stimulare a proceselor de creştere vasculară [12].

AFECŢIUNI ASOCIATE CU NEOVASCULARIZAŢIE RETINIANĂ

(după Henkind) [13]

Diabet zaharat*
Leziuni degenerative maculare legate de vârstă*
Retinopatie de prematuritate*
Ocluzie de venă centrală a retinei*
Ocluzie de ram venos al VCR*
Drepanocitoză*

* Afecţiuni cu frecvenţă a neovascularizaţiei ridicată

Scanned with OKEN Scanner

Lupus eritematos diseminat
Boala Eales
Scleroză multiplă
Boala Takayasu
Obstrucţie de arteră carotidă
Boală Coats
Tumori
Decolare de retină

AFECŢIUNI ASOCIATE CU NEOVASCULARIZAŢIE COROIDIANĂ

(după Green şi Wilson) [14]

Afecţiuni degenerative
- DMLV*
- Striuri angioide*
- Drusen nodular sau difuz
- Miopie
- Osteogeneză imperfectă
- Drusen al capului nervului optic
- Boală Best

Afecţiuni inflamatorii
- Histoplasmoză oculară*
- Sarcoidoză*
- Toxoplasmoză
- Rubeola
- Sindrom Vogh-Koyanagi-Harada
- Boală Behcet / Uveită cronică

Traumatisme
- Rupturi coroidiene
- Fotocoagulare (xenon, argon)
- Drenaj al lichidului subretinian
- Crioaplicaţii

Afecţiuni tumorale
- Nevi coroidieni / Melanom malign
- Hemangiom coroidian
- Osteom coroidian

Alte afecţiuni
- Coroidită geografică sau serpiginoasă
- Retinopatie seroasă centrală
- Fundus flavimaculatus
- Coroidopatie punctată internă

* Afecţiuni cu frecvenţă a neovascularizaţiei ridicată

Scanned with OKEN Scanner

- Prevalenţa neovascularizaţiei la nivelul polului posterior:
  - **Diabetul zaharat** este afecţiunea care pune probleme prin complicaţiile determinate de neovascularizaţie. 23% din cazurile de diabet juvenil; 10% din cazurile de DZ tip II, insulinodependenţi; 3% din cazurile de diabet zaharat tip II non-insulinodependenţi.
  - **Retinopatia de prematuritate** se asociază într-un procent ridicat de cazuri cu formarea de neovase la nivelul retinei, în funcţie de gradul de retinopatie, considerând vârsta de gestaţie, între 12–29% s-a înregistrat la prematuri cu vârsta între 28 şi 31săpt; la 2–20% prematuri cu vârsta între 32 şi 35 săptămâni şi 0–3,5% la prematuri cu vârsta între 32 şi 35 săptămâni [15].
  - **La drepanocitoză** procentul neovascularizaţiei este de aproximativ 20%, iar în cazul bolii Sickle cell ajunge la 40% din cazuri [15].
  - **În degenerescenţa macular legată de vârstă (DMLV),** neovascularizaţia se întâlneşte la 4,5% din pacienţi, fiind caracteristică formelor umede.
- **Ischemia retiniană deţine rolul cel mai important în apariţia neovascularizaţiei atât la nivelul polului posterior cât şi la nivelul irisului şi unghiului camerular; în funcţie de întinderea teritoriilor ischemice, vasele de neoformaţie pot prolifera la nivelul retinei, la nivelul papilei optice sau irisului.**
  - Este necesar ca ischemia polului posterior să intereseze mai mult de un sfert din suprafaţa retinei pentru ca să antreneze formarea neovaselor peripapilare, şi mai mult de o jumătate din suprafaţa retinei pentru ca neovascularizaţia să se întindă la nivelul segmentului anterior.
  - Ipoteza sintetizării unor factori vasoformatori la nivelul segmentului posterior ischemic, de unde difuzează la nivelul segmentului anterior este susţinută astăzi de majoritatea autorilor, având la bază argumente clinice şi experimentale. Identificarea factorilor vasoformatori şi vasoprotectori confirmă datele clinice [16].
  - **Ocluziile venoase retiniene şi retinopatia diabetică constituie cauzele cele mai importante în apariţia glaucomului neovascular;** aceasta deoarece ele determină o încetinire circulatorie în sectoare întinse la nivelul polului posterior, suficiente de a antrena producerea unor cantităţi importante de factori vasoformatori.
    - Vasele de neoformaţie au pereţii subţiri, neregulaţi şi sunt localizate pe suprafaţa irisului, ceea ce le face uşor vizibile. Examenele microscopice relevă aspectul foarte diferit al acestora faţă de vasele iriene normale, care au un perete mai gros, prezentând adventice, care deseori este dublată la exterior de un manşon conjunctiv, cele două părţi fiind separate de un ţesut lax cu rolul de a permite mişcările irisului. Acest ţesut, absent la nivelul neovaselor explică hemoragiile frecvente pe care acestea le determină în evoluţie.
    - Vasele de neoformaţie sunt înglobate într-o membrană conjunctivă, de asemenea neoformată, care prin procesele de proliferare şi de retracţie pe care le antrenează, obliterează unghiul iridocorneean, cu creşterea TIO.
    - La nivelul vaselor de neoformaţie se înregistrează o reacţie inflamatorie cronică constantă.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Ribatti D, Urbinati C, Nico B, Rusnati M, Roncali L, Presta M: Endogenous basic fibroblast growth factor is implicated in the vascularization of the chick embryo chorioallantoic membrane. Dev Biol 1995, 170:39–49.
2. Risau W: Mechanisms of angiogenesis. Nature 1997, 386:671–674.
3. Boulton M, Gregor Z, McLeod D, Charteris D, Jarvis-Evans J, Moriarty P, Khaliq A, Foreman D, Allamby D, Bardsley B: Intravitreal growth factors in proliferative diabetic retinopathy: correlation with neovascular activity and glycaemic management. Br J Ophthalmol 1997, 81:228–223.
4. Bais C, Wu X, Yao J, Yang S, Crawford Y, McCutcheon K, Tan C, Koluman G, Vernes J-M, Eastham-Anderson J, *et al.* (2010). PlGF blockade does not inhibit angiogenesis during primary tumor growth. Cell 141, 166–177.
5. Bakall B, Folk JC, Boldt HC, Sohn EH, Stone EM, Russell SR, and Mahajan VB (2013). Aflibercept therapy for exudative age-related macular degeneration resistant to bevacizumab and ranibizumab. Am J Ophthalmol 156, 15–22.
6. Barleon B, Sozzani S, Zhou D, Weich HA, Mantovani A, and Marme D (1996). Migration of human monocytes in response to vascular endothelial growth factor (VEGF) is mediated via the VEGF receptor flt-1. Blood 87, 3336–3343.
7. Carmeliet P, Ferreira V, Breier G, Pollefeyt S, Kieckens L, Gertsenstein M, Fahrig M, Vandenhoeck A, Harpal K, Eberhardt C, *et al.* (1996). Abnormal blood vessel development and lethality in embryos lacking a single VEGF allele. Nature 380, 435–439 issn: 0028–0836.
8. De Bock K, Georgiadou M, and Carmeliet P (2013). Role of endothelial cell metabolism in vessel sprouting. Cell Metab 18, 634–647.
9. Birkenhauer E, and Neethirajan S (2015). A double-edged sword: the role of VEGF in wound repair and chemoattraction of opportunist pathogens. Int J Mol Sci 16, 7159–7172.
10. Bhutto IA, McLeod DS, Hasegawa T, Kim SY, Merges C, Tong P, and Lutty GA (2006). Pigment epitheliumderived factor (PEDF) and vascular endothelial growth factor (VEGF) in aged human choroid and eyes with age-related macular degeneration. Exp Eye Res 82, 99–110.
11. Batchelor TT, Sorensen AG, di Tomaso E, Zhang WT, Duda DG, Cohen KS, Kozak KR, Cahill DP, Chen PJ, Zhu M, *et al.* (2007). AZD2171, a Pan-VEGF Receptor Tyrosine Kinase Inhibitor, Normalizes Tumor Vasculature and Alleviates Edema in Glioblastoma Patients. Cancer Cell 11, 83–95.
12. Borgstrom P, Hillan KJ, Sriramarao P, and Ferrara N (1996). Complete inhibition of angiogenesis and growth of microtumors by anti-vascular endothelial growth factor neutralizing antibody: novel concepts of angiostatic therapy from intravital videomicroscopy. Cancer Research 56, 4032–4039.
13. Henkind P., Wise G.N., Retinal neovascularization, collaterals, and vascular shunts, *Br J Ophthalmol*, 1974 Apr;58(4):413–22., doi: 10.1136/bjo.58.4.413.
14. Green WR., Wilson DJ Choroidal neovascularization, Ophthalmology,. 1986 Sep;93(9):1169–76.,doi: 10.1016/s0161–6420(86)33609–1.
15. Ferrara N (2016). VEGF and Intraocular Neovascularization: From Discovery to Therapy. Transl Vis Sci Technol 5, 10.
16. Holz FG, Sadda SR, Busbee B, Chew EY, Mitchell P, Tufail A, Brittain C, Ferrara D, Gray S, Honigberg L, *et al.* (2018). Efficacy and Safety of Lampalizumab for Geographic Atrophy Due to Age-Related Macular Degeneration: Chroma and Spectri Phase 3 Randomized Clinical Trials. JAMA Ophthalmol 136, 666–677.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 12

TRATAMENTUL ÎN NEOVASCULARIZAŢIA RETINO-COROIDIANĂ

MIRUNA CIOBOATĂ, MARIETA DUMITRACHE

- Neovascularizația retino-coroidiană (NVRC) este o afecțiune gravă, care amenință funcția vasculară până la cecitate (fără tratament) și are evoluție recidivantă.
  - Prognosticul este legat de extinderea și localizarea neovascularizației
  - NVRC se produce prin creșterea permeabilității vasculare generată de procese patologice care afectează complexul coriocapilar – membrana Bruch, epiteliul pigmentar retinian (EPR).
  - alterarea acestui complex poate fi: degenerativă, mecanică, necrotică, inflamatorie.
- NVRC reprezintă apariția de noi vase de sânge, anormale, cu origine în coroidă din coriocapilarele preexistente, după degenerarea membranei Bruch pe care o penetrează și se răspândesc sub EPR, și retina neurosenzorială [10,14].
  - inițial sunt vase fine în interiorul membranei Bruch
  - NVRC este însoțită de o componentă fibroasă importantă asociată cu hiperplazia și metaplazia epiteliului pigmentar adiacent
  - NVRC influențează vederea centrală ireversibil prin edem exudativ, hemoragie
- **NVRC reprezintă o cauză majoră de scădere a vederii, și poate fi produsă de procese patologice ce acționează la nivelul complexului coriocapilar – membrana Bruch, epiteliul pigmentar retinian.**
- NVRC este prezentă în boli retinocoroidiene: DMLV, retinopatie diabetică proliferativă, miopie degenerativă, histoplasmoza, edem macular cistoid, striuri angioide, traumatisme, uveite posterioare.
- La pacienții sub 50 de ani, cauzele cele mai frecvente de NVRC sunt: miopia degenerativă, striurile angioide, traumele, uveitele posterioare.
- **La pacienții în vârstă, NVRC cea mai frecventă este dată de DMLV și reprezintă cea mai frecventă cauză de scădere severă a vederii.**
- În DMLV un rol important în procesul de neoangiogeneză îl are factorul vascular endotelial de creștere VEGF, care este un reglator natural al

Scanned with OKEN Scanner

proceselor vitale din organism care stimulează proliferarea celulară endotelială, creşterea permeabilităţii vasculare şi activarea leucocitelor
  - **VEGF afectează creşterea vaselor de sânge, dereglează permeabilitatea vasculară şi activitatea leucocitelor**
- Medicamentele anti-VEGF sunt folosite pentru tratamentul DMLV, RD proliferativă, OVCR sau de ram
- Scopul tratamentului cu anti-VEGF sunt:
  - menţinerea AV existente
  - reducerea pierderii progresive a vederii la pacienţii cu NVRC
  - ameliorarea AV
- În funcţie de extensia membranei neovasculare, NVRC sunt:
  - NVRC tip I – în care neovascularizaţia se dezvoltă între membrana Bruch şi epiteliul pigmentar retinian
    - este frecvent prezentă în DMLV
    - prezintă creştere multifocală
  - NVRC tip II care se dezvoltă subretinian
    - apare la pacienţi tineri cu miopie forte, striuri angioide sau secundar corioretinitelor
  - NVRC tip III – cu leziuni combinate

NVRC în DMLV exudativă

- Neovascularizaţia retinocoroidiană în DMLV poate fi:
  - Proliferare retiniană angiomatoasă în care procesul neovascular are originea în vasele retiniene, şi NU în coriocapilare
    - este o afecţiune bilaterală cu evoluţie simetrică
  - Neovascularizaţia intraretiniană cu origine în plexul capilar premacular profund se asociază cu edem şi hemoragii intraretiniene [4]
  - Neovascularizaţia subretiniană în care neovasele sunt localizate sub stratul celulelor fotoreceptoare
    - determină apariţia detaşării seroase a epiteliului pigmentar cu edem, hemoragii intra, preretiniene
  - DMLV exudativă se însoţeşte de decolarea şi ruptura EPR cu dezvoltarea neovascularizaţiei coroidiene
    - dezvoltarea NVRC în DMLV produce scăderea vederii centrale, prin distrucţia fotoreceptorilor din regiunea maculară [7]
    - explorarea OCT este utilă în configurarea şi monitorizarea diagnostică şi evolutivă a NVRC
    - OCT în DMLV arată:
      - prezenţa şi localizarea faţă de foveolă a membranei neovasculare
      - prezenţa maculopatiei exudative cu edem macular, exudate dure, decolare seroasă de EP şi/sau neuroepiteliu
      - aspectul OCT al membranei neovasculare coroidiene: bandă fuziformă hiperreflectivă, sub EP pe care îl ridică şi îl deformează

Scanned with OKEN Scanner

- Complicațiile NVRC în DMLV sunt frecvente și grave [11]
  - decolări hemoragice de EP prin ruptura vaselor de neoformație
  - hemoragii vitreene
  - cicatrici fibroase
  - exudație masivă ± decolări retiniene exudative

Miopia reprezintă un factor major de risc pentru NVRC.

- Prevalența miopiei degenerative (cu valori peste -6 dioptrii sau ax antero-posterior mai mare de 26 mm) în populația generală este între 4 și 12 %, cu variații semnificative în funcție de sex, rasă, grup etnic și nivel educațional.
- Elongația progresivă a globului ocular produce modificări degenerative la nivel corioretinian, precum rupturi spontane liniare la nivelul membranei Bruch, mai ales la nivel macular, rupturi care se asociază frecvent cu mici hemoragii și produc atrofierea epiteliului pigmentar perilezional, cu extensia țesutului fibrovascular la nivel subretinian, (pata Fuchs). Aceste rupturi și hemoragiile subretiniene reprezintă factori majori de risc pentru NVRC și maculopatie exudativă [1].
- NVRC reprezintă complicația miopiei mari/ forte cu cel mai mare potențial de scădere al vederii și apare la 5–10 % din acești pacienți.
- Miopia este și cea mai frecventă cauză de NVRC la pacienți sub 50 de ani.
- Neovascularizația secundară miopiei degenerative [2].
  - are un aspect clinic de membrană subretiniană plată, gri-cenușie sau placard pigmentat, de mici dimensiuni (sub un diametu papilar), cu margini relativ bine delimitate și localizată de obicei la nivel subfoveal.
  - maculopatia exudativă mai include prezența decolării seroase de neuroepiteliu, edem macular, exudate sau hemoragii maculare subretiniene [3].

Striurile angioide se pot dezvolta izolat sau în cadrul unor manifestări sistemice precum pseudoxantoma elasticum, sindromul Ehlers-Danlos sau alte boli ale țesutului elastic [5].

- Striurile reprezintă rupturi fine liniare la nivelul membranei Bruch îngroșate și calcificate.
- Apar bilateral și au traseu radiar de la nivelul discului nervului optic de culoare roșu-cenușiu, neregulate, relativ liniare cu modificări pigmentare tipice („*peau d'orange*") asociate striurilor angioide.
- NVRC reprezintă complicația principală și apare la 44–57 % din acești pacienți.

NVRC se poate forma secundar unor **procese inflamatorii de pol posterior**, precum corioretinite infecțioase, serpiginoase, multifocale sau panuveite.

- ***Membranele neovasculare sunt frecvente și se pot forma fie în timpul episoadelor de inflamație activă, fie pe cicatricile subretiniene formate între episoadele inflamatorii.***

Scanned with OKEN Scanner

TRATAMENT FOTOCUAGULATOR LASER

- Neovascularizaţia coroidiană din cadrul degenerescenţei maculare legate de vârstă a reprezentat ţinta principală a terapiilor fotocoagulare LASER [18].
- Tratamentul NVRC de altă etiologie rămâne în continuare bazat pe terapiile concepute pentru DMLV, cu eficienţă şi rezultate funcţionale comparabile.

Fotocoagularea LASER

- Fotocoagularea LASER a vaselor de neoformaţie a fost prima metodă folosită în tratamentul membranelor neovasculare. Această terapie are indicaţii foarte limitate, în special în membranele neovasculare din cadrul DMLV, extrafoveale sau juxtafoveale, bine localizate [20].
- Fotocoagularea NVRC de etiologie non-DMLV nu a intrat în rutină datorită beneficiului limitat în stabilizarea sau îmbunătăţirea acuităţii vizuale.
- Pentru fotocoagularea membraneleor neovasculare se foloseşte de rutina LASERUL Argon sau Krypton.

Terapia fotodinamică

- Terapia fotodinamică constă în injectarea intravenoasă a unui substanţe fotosensibile, respectiv Verteporfin (Visudyne), care apoi se va fixa la nivelul ţesutului neovascular şi va fi activată de raza unei surse de LASER diodă cu lungimea de undă de 689 nm, cu o intensitate de 600 mWati/ cm pătrat, timp de 83 de secunde.
  - Se foloseşte un spot LASER mai mare cu 1 mm decât marginea membranei neovasculare pentru a asigura închiderea completă a leziunii, iar nivelul de energie folosit este mult mai mic decât cel din fotocoagularea laser convenţională.
  - Prin această metodă pot fi tratate ţintit membranele neovasculare fără a distruge retina supraiacentă şi devine astfel posibil tratamentul NVRC subfoveale.

TERAPIA ANTIANGIOGENICĂ

- Terapia antiangiogenică reprezintă cea mai nouă metodă de tratament a NVRC şi constă în injectarea intraoculară a unei soluţii cu antigen specific monoclonal care se leagă şi neutralizează factorul de creştere vascular endotelial (VEGF) [9,11].
- Factorul de creştere vascular endotelial are rolul principal în angiogeneză, în fiziopatologia tumorală şi a neovascularizaţiei oculare corioretiniene.
  - **Medicamentele care inhibă sau antagonizează VEGF pot să interfere cu procesul de angiogeneză, să oprească progresia bolii în cauză şi să recupereze vederea pierdută.**

Scanned with OKEN Scanner

- Terapia cu medicamente anti-VEGF urmăreşte două aspecte: efectul antiangiogenic şi antipermeabilitate (acţiunea în interiorul MNVC este de inhibiţie a NVRC şi de favorizare a resorbţiei fluidului extravascular).
- Obiectivele acestui tratament sunt:
  - stabilizarea acuităţii vizuale;
  - inhibarea proliferării neovaselor;
  - modelarea cicatricii fibrovasculare;
  - îmbunătăţirea acuităţii vizuale;
  - eliminarea lichidului subretinian;
  - reducerea edemului macular.

- **Terapia antiangiogenică constă în injectarea intraoculară a unei soluții cu antigen specific monoclonal (întreaga moleculă de IgG sau doar fragmente imune) care se leagă și neutralizează factorul de creștere vascular endotelial** (izoforma A). Există mai multe variante farmaceutice şi comerciale disponibile, iar majoritatea se administrază prin injectare intravitreeană [9,8].
- Principalele clase farmaceutice disponibile sunt reprezentate de
  - **Bevacizumab (Avastin)**
  - **Ranibizumab (Lucentis)**
  - **Pegaptanib (Macugen)**
  - **Aflibercept (Eylea)**
- Aceste medicamente sunt eficiente în NVRC din DMLV şi în NVRC secundară în miopia degenerativă, striuri angioide, corioretinite.

Indicații

- Tratamentul antiangiogenic este indicat în [14,15].
  - stările patologice asociate cu neovascularizație retino-coroidiană
    - degenerescență maculară legată de vârstă
    - miopie forte
    - striuri angioide
    - corioretinite
  - ischemie retiniană şi neovascularizație intraoculară
    - retinopatia proliferativă din diabetul zaharat
    - retinopatia de prematuritate
    - obstrucția ischemică de venă centrală a retinei.
- Tratamentul este eficient în toate formele de neovascularizație coroidiană, retiniană sau iriană.
- Eficiența tratamentului intravitreean a fost confirmată de o multitudine de studii clinice, **iar protocolul standard presupune efectuarea a trei injecții, la o lună distanță una de alta** [12,11].
  - Este obligatorie evaluarea angiofluorografică şi tomografică în coerență optică înainte de inițierea tratamentului, iar apoi control clinic şi OCT după fiecare injecție, pentru a urmări efectele intermediare ale tratamentului şi apariția complicațiilor potențiale, în special rupturi ale epiteliului pigmentar retinian.

Scanned with OKEN Scanner

- Complicațiile administrării intravitreene constau în:
  - creșterea tensiunii intraoculare
  - ocluzia arterei centrale a retinei
  - lezarea cristalinului și cataractă
  - eroziuni corneene temporare
  - hemoragii subconjunctivale
  - hemoragii vitreene.

TERAPIA ANTIANGIOGENICĂ PRIN TRATAMENTUL ANTI-INFLAMATOR CORTICOSTEROIDIAN

- În patologia polului posterior, corticosteroizii au un rol esențial în tratamentul
  - edemului macular din maculopatia diabetică
  - ocluzii vasculare venoase retiniene
  - inflamații oculare
  - neovascularizație coroidiană.
- Dintre corticosteroizi, cei mai folosiți în oftalmologie sunt **Dexametazona (clasa de potență mare), Triamcinolon acetonid (potență medie)** și **Fluometholon** (potență mică).
- Modul de administrare
  - Implante intravitreene
    - Fluocinolon acetonid – Retisert
    - Dexametazon – Porsudex, Ozurdex cu efect îndelungat 2–3 ani
  - Injecții intravitreene – Triamcinolon acetonid
    - Kenalog
    - Kenacort
    - Triamhexal efect 6 luni
  - Administrare sistemică.

TERAPIA ANTIANGIOGENICĂ PRIN ACETAT ANECORATAV

- Acetatul anecoratav (Retaane) și desacetatul anecoratav aparțin unei noi clase de derivați steroizi nonglucocortizonici angiostatici numită cortizeni.
- Acetatul anecoratav este eficient în **tratamentul DMLV exudativă** și este evaluat ca mijloc de tratament pentru reducerea progresiei DMLV non-exudative cu risc mare.
  - **Neovascularizția coroidiană din numeroase afecțiuni**: DMLV, miopie patologică, striuri angioide, rupturi coroidiene, traumatisme și

Scanned with OKEN Scanner

variate corioretinopatii în care folosirea anecorAtav inhibă formarea NVRC

- **Retinopatia de prematuritate pentru reducerea neovaselor**
- **Tumori intraoculare pentru inhibarea angiogenezei tumorilor**

BIBLIOGRAFIE

1. Ouhadj O. *et al.*, Neovaisseaux choroidiens dee myope fort J.Fr. d'Opht. 2010, 33/9, 649.
2. G. Dethorey *et al.*, Efficacy of intravitreal injections of ranibizumab compared to visuoyne phototherapy in myopic choroidal neovascularization associated with high myopie J.Fr. d'Ophtalm. 2012/36/2, 106.
3. P.L.Comut *et al.*, Intravitreal ranibizumab for NVRC secondary to pathological myopie J.Fr. d'Opht 2010, 33/5, 327–333.
4. J.K Korobelnik Oedeme maculaire et DMLV Raport Soc. Fr. d'Ophtalm, 2016.
5. S. Nghiene Buffet G. Quentel Intravitreal anti-VEGF treatment of NVRC in patients with angioid streaks Images en Opht. 2009 vol. 2.
6. R.N. Galvaro Vianna *et al.*, Choroidal neovascularization associated with sympathetic ophtalmic Arq. Brosileiros de Opht. 2005, 68/3.
7. Oprea I. Ştefan Determinarea paraclinică a modificărilor anatomice ale coroidei şi retinei în DMLV Teză doctorat, 2017.
8. De Freitas *et al.*, Intravitreal bevacizumab combined with infliximab in the treatment of NVRC secondary to DMLV arquivos Brasileiros di Opht. 2013, 78/3, pg. 180–184.
9. Bastianina Came Farmacogenetica dei formaci anti-VEGF in pazienti Univ. di Pisa affetida DMLV, 2012–2013.
10. Kierstan Boyd What is Avastin? American Academy of Ophtalmology 2017.
11. American Academy of Ophthalmology Basic and Clinical Science Course, 2003, 2004, 2005, 2006, 2012, 2013.
12. Bartlett J.D., Jaanus S.D., Clinical Ocular Pharmacology, Butterworth Heinemann, 2008.
13. Bright D.C., Diseases of the Retina Clinical Ocular Pharmacology, Elsevier, 2008.
14. Dumitrache Marieta, Tratat de oftalmologie, Ed. Universitară „Carol Davila" Bucureşti, 2012.
15. Dumitrache M. Tratament medical în bolile oculare Ed. Medicală 2014.
16. Fong D.S., Law S.K., Schmidt U.M., Drugs in Ophthalmology, 2005.
17. Gyang K.O., Ocular Drug Handbook, 2008.
18. Kanski J.J., Clinical Ophthalmology, Elsevier, 1989, 2003.
19. Katzung, Trevor's, Pharmacology, McGraw Hill Lange, 2013.
20. Nguyen Q.D., Rodrigues F.B., Farah M.E., Miller W.F., Retinal Pharmaco Therapy, Saunders Elsevier, 2010.
21. Onofrey B.E., Skorin L., Holdeman N.R. Ocular Therapeutics Handbook, Lippincott W.W., edition 2, 2005.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 13

LASERUL ÎN RETINOPATIA DIABETICĂ PROLIFERATIVĂ

RAMONA ȘERBAN

- Diabetul zaharat este o boală care la nivel global are o morbiditate semnificativă. În prezența simptomelor tipice ale bolii (poliuria, polidipsia și scădere ponderală)
  - diagnosticul diabetului zaharat trebuie pus chiar la o singură detectare a unei glicemii >200 mg/dl (independent de aportul alimentar).
- În absența simptomelor tipice, diagnosticul de diabet zaharat trebuie făcut cu determinarea, confirmată în două ocazii diferite, glicemiei *à jeun* >126 mg/dl (dozarea trebuie realizată dimineața, după cel puțin 8 ore de post alimentar) sau de glicemia >200 mg/dl după 2 ore de la încărcarea orală cu glucoză (75 g).
- De asemenea, diagnosticul poate fi realizat și în prezența unei hemoglobine glicozilate (HbA1c) ≥ 48 mmol/mol (6,5%).
- Studii epidemiologice și studii clinice au dovedit faptul că **un control optim al glicemiei, al tensiunii arteriale și al lipidelor din sânge pot reduce riscul dezvoltării retinopatiei și încetinirea progresiei acesteia.**
- În majoritatea țărilor dezvoltate, **retinopatia diabetică este una dintre cele mai frecvente cauze de orbire în populația adultă** aptă de muncă. Un studiu de meta-analiză globală raporta că 1 din 3 pacienți cu diabet (34,6%) prezenta una dintre formele retinopatiei diabetice în Statele Unite, Australia, Europa și Asia.
- Retinopatia diabetică se dezvoltă în timp și este asociată cu un control slab al glicemiei, al tensiunii arteriale și al lipidelor din sânge. Un control adecvat al acestor parametri reduce incidența anuală de dezvoltare a retinopatiei diabetice și prelungește viața pacienților prin reducerea riscului de boli cardiovasculare.
  - prevalența retinopatiei diabetice într-o comunitate este, de asemenea, influențată de numărul de pacienți diagnosticați precoce cu diabet zaharat:
    - în țări cu un sistem medical bine dezvoltat, screeningul ajută la diagnosticarea din stadiile incipiente a pacienților cu diabet zaharat.

Scanned with OKEN Scanner

Prevalența retinopatiei diabetice la pacienții nou diagnosticați cu diabet zaharat va fi scăzută, ca urmare prevalența generală va fi scăzută.

- în țări cu un sistem medical mai slab dezvoltat, pacienții sunt diagnosticați cu diabet zaharat abia în fazele avansate ale bolii, când și retinopatia diabetică s-a instalat. Astfel, prevalența generală a retinopatiei diabetice va fi mai mare.

Clasificarea retinopatiei diabetice (tabelul 1)

- Leziunile tipice de retinopatie diabetică includ microanevrisme, hemoragii, anomalii vasculare intraretiniene, dilatări venoase, vene sinuoase „în mătănii" sau ca „mărgelele pe șirag" – calibrul venos se modifică prin zone de dilatare și constricție, exsudate dure (depozite lipidice), exsudate moi („în fulgi de bumbac" – retina ischemică determină acumulări de resturi axoplasmice în mănunchiul format de axonii celulelor ganglionare) și neovascularizație retiniană.

Retinopatia diabetică non-proliferativă

- Retinopatia diabetică neproliferativă se caracterizează prin lipsa neovascularizației, dar pacienții pot prezenta oricare dintre celelalte leziuni enumerate mai sus.
  - ochii progresează de la lipsa RD (retinopatie diabetică) la diverse grade de severitate care includ RD non proliferativă ușoară, moderată sau severă.
  - identificarea corectă a severității RD determină o adecvată predicție a riscului de progresie a RD, pierderii acuității vizuale și determinarea recomandărilor pentru tratamentul corespunzător inclusiv intervalul de urmărire al pacientului.

Retinopatia diabetică proliferativă

- RDP este cel mai avansat stadiu al RD și reprezintă răspunsul angiogenic la ischemia retiniană extinsă datorată închiderii capilarelor.
  - neovascularizația retiniană este descrisă ca prezența de noi vase pe discul optic (NVD) sau prezența de noi vase aflate oriunde în jurul arcadelor vasculare (NVE).
  - NVE de obicei apare la interfața dintre zonele de retină perfuzată și neperfuzată.

Edemul macular diabetic

- Edemul macular diabetic este o complicație adițională importantă care este evaluată separat de stadiile retinopatiei diabetice deoarece se poate dezvolta în oricare din gradele de severitate ale RD și poate avea o evoluție independentă.
  - în mod curent, ochii diabetici sunt în general clasificați astfel:
    - absența EMD
    - EMD non central
    - EMD central
  - determinarea severității EMD bazată pe aceste trei categorii va determina tratamentul și recomandările de urmărire.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1

Clasificarea internațională a RD și a EMD

Retinopatie Diabetică	Semne vizibile prin oftalmoscopie (cu dilatare)	Recomandări
Fără RD decelabilă clinic	Anomalii absente	Recontrol la 1–2 ani
RD neproliferativă Incipient	Microanevrisme	Recontrol la 1–2 ani
RD neproliferativă medie	Mai mult decât microanevrisme dar mai puțin decât în RD neproliferativă severă	Recontrol la 6 luni – 1 an sau trimitere la medic oftalmolog
RD neproliferativă severă	Oricare din urmatoarele semne: • hemoragii intraretiniene (≥ 20 în fiecare cadran); – dilatații venoase (în două cadrane); • anomalii microvasculare intraretiniene (la nivelul unui cadran); • fără semne de retinopatie proliferativă	Consultație la medic oftalmolog
RD proliferativă	Semne de RD neproliferativă severă și unul sau mai multe dintre următoarele: • neovascularizație • hemoragie preretiniană sau in vitros	Consultație la medic oftalmolog
Edem macular diabetic	**Semne vizibile prin oftalmoscopie (cu dilatare)**	**Recomandări**
EMD absent	Fară îngroșare retiniană sau prezența de exsudate dure la nivelul maculei	Recontrol la 1–2 ani
EMD implicare non- centrală	Îngroșare retiniană la nivelul polului posterior dar în afara zonei centrale maculare (un diametru de 1000 μm)	Consultație la medic oftalmolog
EMD implicare centrală	Îngroșare retiniană în macula care implica zona central	Consultație la medic oftalmolog

EVALUAREA OFTALMOLOGICĂ DETALIATĂ A PACIENTULUI CU RETINOPATIE DIABETICĂ

Evaluarea inițială a pacientului:

- Evaluarea detaliată a pacientului ar trebui să includă un examen oftalmologic complet, cuprinzând determinarea acuității vizuale, identificarea și clasificarea severității RD, precum și prezența EMD pentru fiecare ochi. Evaluarea pacientului ar trebui, de asemenea, să cuprindă și istoricul medical al acestuia axat pe DZ și pe modificatorii acestuia.

Istoricul pacientului (elemente cheie)

- Durata diabetului.
- Controlul glicemic în trecut (HbA1c).
- Medicamente (insulină, antidiabetice orale, antihipertensive, hipolipemiante).

Scanned with OKEN Scanner

- Istoricul bolilor sistemice asociate (boli renale, HTA sistemică, niveluri de lipide serice, sarcină).
- Istoricul semnelor şi simptomelor oculare, afecţiuni oculare asociate.

Examinarea iniţială (elemente cheie)

- Acuitatea vizuală.
- Măsurarea presiunii intraoculare (PIO).
- Gonioscopie atunci când este indicată (exemplu, Neovascularizaţie iriană vizibilă sau în cazuri de creştere a PIO).
- Biomicroscopie cu lampa cu fantă.
- Examinarea fundului de ochi.

Metode de examinare şi evaluare a fundului de ochi

- În prezent cele mai sensibile metode pentru detectarea RD sunt retinofotografiile şi examinarea biomicroscopică cu lampa cu fantă după dilatare. Ambele depind de interpretarea de către profesioniştii din domeniul sanătăţii cu experienţă în domeniul oftalmologiei.
- Fotografierea fundului de ochi are avantajul de a crea o înregistrare permanentă şi din acest motiv este metoda preferată pentru evaluarea retinopatiei. Cu toate acestea, examinatori bine antrenaţi pot identifica RD fără retinfotografii şi există multe situaţii în care această metodă clinică ar constitui prima alegere în examinarea retinei.
- Utilizarea tuturor instrumentelor necesită pregătire şi competenţă, dar este nevoie de mai multă calificare pentru oftalmoscopia indirectă şi biomicroscopia cu lampa cu fantă decât pentru fotografierea fundului de ochi. Mai nou, au apărut camere semi-automate nonmidriatice pentru fotografierea fundului de ochi care sunt uşor de utilizat. Opacifierile mediilor ocular vor conduce la o fotografie/imagine degradată şi astfel toate fotografiile/imaginile vor trebui revizuite de către personal calificat.

Examinarea pacienţilor cu RD în cursul procesului de urmărire a retinopatiei:

- În general, examinările din cursul perioadei de urmărire a RD ar trebui să fie similare cu examinarea iniţială. Evaluarea simptomelor vizuale, a acuităţii vizuale, măsurarea PIO şi examinarea fundului de ochi sunt esenţiale.

Istoricul monitorizării RD

- Simptome vizuale
- Statutul glicemic (HbA1c)
- Statusul sistemic (exemplu, sarcina, tensiunea arterială sistemică, nivelul lipidelor serice, statusul renal)

Examenul clinic

- Acuitatea vizuală
- Măsurarea presiunii intraoculare
  - Biomicroscopie cu lampă cu fantă
  - Examinarea fundului de ochi

Scanned with OKEN Scanner

Teste auxiliare

- **OCT-ul** este metoda cea mai sensibilă pentru a identifica localizarea şi severitatea
- EMD. Scanarea retinei permite de a decta prezența îngroșării retinei, tipul EM difuz sau cistoid, prezența lichidului subretinian și al tracțiilor vitreoretiniene.
- **Fotografierea fundului de ochi** este o metodă utilă de înregistrare și evaluare a activității bolii. Este utilă în determinarea detaliilor severității maladiei.
- **Angiografia cu fluoresceină** nu este necesară pentru a diagnostica RD, RD proliferativă sau EMD, toate acestea fiind diagnosticate prin intermediul examenului clinic; Angiografia cu fluoresceină poate fi utilizată ca element de ghidaj pentru tratarea EMD şi ca un mijloc de evaluare a/ale cauzei/cauzelor de scădere inexplicabilă a acuitaţii vizuale. Angiografia fluoresceinică poate identifica, de asemenea, nonperfuzia capilarelor maculare sau sursele de scurgere capilară (*leakage*) ce pot determina EMD, ambele situații furnizând posibile explicaţii pentru pierderea vederii.

Educaţia pacientului în legătură cu complicațiile severe mai des întâlnite în RD

- Hemoftalm
- Decolare de retină tracțională
- Glaucom neovascular
- Cataractă complicată
  - Discuţii privind rezultatele sau examinarile şi implicatiile acestora;
  - Încurajarea pacienților cu DZ, ce nu prezintă semne de RD, să se prezinte la examene anuale de *screening* oftalmologic;
  - Informaţia pacienţilor în legătură cu faptul că eficacitatea tratamentului pentru RD depinde de intervenţia în timp util, necesară chiar în ciuda unei acuităţi vizuale bune şi a lipsei simptomelor oculare;
  - Instruirea pacienţilor cu privire la importanţa menţinerii la niveluri aproape normale a glucozei în sânge, a tensiunii arteriale şi controlul nivelului lipidelor serice;
  - Comunicarea cu personalul medical ce tratează boala diabetică (exemplu, medicul de familie, internist sau endocrinolog) în ceea ce priveşte modificările identificate la nivelul ochiului;
  - Asigurarea de sprijin profesional adecvat (exemplu, recomandări pentru consiliere, reabilitare sau servicii sociale dacă este cazul) pacienţilor ale căror afecțiuni nu răspund la intervenții chirurgicale şi pentru care tratamentul nu este disponibil;
  - Îndrumarea pacienţilor a căror funcție vizuală este redusă către reabilitare vizuală şi servicii sociale.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2

Schema de urmărire şi managementul pentru stabilirea severităţii RD pentru toţi pacienţii, indiferent de severitatea RD, optimizarea tratamentului medical pentru controlul glicemiei, al tensiunii arteriale şi al dislipidemiei

Severitatea RD	**Plan de urmărire pentru gestionare de către oftalmolog**
Fără RD decelabilă clinic	Repetă examinarea la 1–2 ani.
RD neproliferativă Incipienta	Repetă examinarea la 6–12 luni
RD neproliferativă medie	3–6 luni
RD neproliferativă severă	< 3 luni, panfotocoagularea LASER precoce
RDP	< 1 lună panfotocoagulare LASER
RDP stabile (tratată)	6–12 luni 1
EMD	**Plan de urmărire pentru gestionare de către oftalmolog**
EMD non central	3–6 luni, fotocoagulare LASER
EMD central	1–3 luni, terapie anti- VEGF sau fotocoagulare LASER focală
EMD stabil	3–6 luni

TRATAMENTUL RETINOPATIEI DIABETICE

Optimizarea tratamentului medicamentos: îmbunătăţirea controlului glicemiei [dacă HbA1c > 58 mmol/mol (>7,5%)], de asemenea controlul HTA şi al dislipidemiei asociate.

Fără RD, RDNP uşoară sau moderată: urmaţi recomandările de reexaminare cu pupila dilatată, şi înregistrare. Tratamentul EMD dacă este necesar (vezi mai jos).

RDNP severă: Lasercoagulare panretiniană precoce la pacienţii cu risc major de RDP. Există beneficii în cazul fotocoagulării panretiniene precoce pentru RD neproliferativă severă în cazul pacienţilor cu DZ de tip 2. Alţi factori, cum ar fi complianţa scăzută în respectarea programului de monitorizare, iminenţa extracţiei cataractei sau sarcina, statutul ochiului congener vor ajuta la determinarea momentului fotocoagulării panretiniene.

RDP: Tratament – Lasercoagulare panretiniană. Injectarea intraoculară a agenţilor anti-VEGF (ranibizumab, bevacizumab şi aflibercept) sunt foarte eficiente împotriva neovascularizaţiei.

Panfotocoagularea retiniană (PRP) (tabelul 3)

Discuţia cu pacienţii premergătoare tratamentului:

- Pacienţii au nevoie, de obicei, de numeroase vizite pentru monitorizare şi pot necesita tratament laser suplimentar.
- PFC reduce riscul de pierdere a vederii şi orbire.
- Deşi tratamentul cu LASER este eficient, unii pacienţi pot dezvolta hemoragie *in vitros*.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3

Caracteristica impactelor LASER pentru fotocoagularecoagularea laser panretiniană

Dimensiune	500 µm
Expunere:	0,1 secunde recomandat, se permite 0,05 până la 0,2. 0,02 ori 0,03 secunde poate fi folosit în *High Resource Settings* (la aparatele LASER unde este aplicabil).
Intensitate:	alb moderat (*i.e.* 2+ până la 3+ impacte)
	interval de un spot între spoturi. În RDP severă interval de 0,5–0,75 spot între spoturi
Număr de ședințe:	1 până la 3
Proximitate nazală față de papilă:	Nu mai aproape de 500 µm
Proximitate temporală față de centru:	Nu mai aproape de 3000 µm
Limita superioară/inferioară:	Nu mai mult de 1 impact în interiorul arcadelor temporale
Numărul total de impacte:	1200–1600; Se pot întâlni cazuri unde aplicarea a 1200 impacte nu este posibilă așa cum este în cazul unei hemoragii vitreene sau în cazul incapacității de a completa numărul de impacte. Similar, pot exista cazuri clinice unde este nevoie de mai mult de 1600 impacte.
Arie:	Arcade (~3000 µm de la centrul maculei) până la ecuator, cel puțin
Lungime de unda:	Verde sau galben (cea roșie poate fi folosită în caz de hemoragie vitreeană).

Notă: Este necesară suplimentarea numărului impactelor laser dacă se constată o înrăutățire a RD proliferative.

Hemoragia este cauzată de diabet și nu de LASER; aceasta poate însemna că pacientul are nevoie de mai mult tratament LASER.

- Tratamentul LASER reduce de multe ori vederea periferică și pe cea nocturnă. Tratamentul poate reduce moderat și vederea centrală. Acest efect secundar mai des pe termen scurt este compensat de reducerea semnificativă pe termen lung a riscului de scădere a vederii și a riscului orbirii la pacienții tratați prin intermediul laserterapiei.

Lentile pentru RD panfotocoagularea retiniană:

- Lentila de contact cu trei oglinzi Goldmann are o deschidere centrală pentru tratarea polului posterior și lateral oglinzi pentru tratarea retinei din periferia medie și extremă. Dezavantaje: câmp redus de vizualizare a fundului de ochi necesitând manipularea continuă a lentilei pentru finalizarea tratamentului. Dimensiunea spotului este stabilită la 500 pm.
- Lentilele de contact cu unghi larg (*wide*) se folosesc frecvent. Deși imaginea este inversată, există un câmp larg de vizualizare și permite administrarea de mai multe spoturi de LASER putând asigura o mai bună orientare în funcție de papila nervului optic și de mactilă. Optica acestor lentile cu unghi larg va afecta dimensiunea spotului de LASER pe retină (tabelul 4). Lentilele cu unghi larg pentru oftalmoscopia indirectă oferă o imagine inversată, dar arată un unghi larg de vizualizare și o mărire a spotului LASER pe retină. Tratamentul Scatter poate fi aplicat pe o suprafață mare de retină într-o singură imagine fiind ușor de vizualizat discul optic și macula.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4

Ajustarea dimensiunii spotului LASER necesar pentru diferite lentile de contact

Lentilă	Câmp vizual	Amplificare axială	Amplificarea spotului	Setări ale mărimii spotului~500 μm
Mainster Wide-Field	125°	0,46	1,50×	300 μm
Volk TransEquator	120–125°	0,49	1,43×	300 μm
Volk Quad/Aspheric	130–135°	0,27	1,92×	200 to 300 μm
Mainster PRP 165	160°	0,27	1,96×	200 300 μm

Tehnica panfotocoagulării retiniene

- Se dilată maxim pupila şi se foloseşte anestezie topică. Poate fi necesară anestezia retrobulbară sau subtenoniană pentru reducerea durerii şi a mişcărilor oculare.
- Cele mai frecvente lungimi de undă folosite sunt Argon verde, albastru verde (în general evitate în prezent) şi 532 LASER verde, folosind sistemul de livrare prin intermediul lampei cu fantă. În cazul în care mediul este neclar se poate folosi laserul Krypton roşu sau dioda roşu (814 nm). Cel mai frecvent, tratamentul laser se realizează printr-o lentilă de contact dar poate fi realizat şi prin oftalmoscopia indirectă (ex. atunci când tratamentul este aplicat sub anestezie generală).
- Setările iniţiale tipice pentru LASERUL Argon sunt: dimensiunea spotului 500 μm, o expunere de 0,1 sec şi o putere de 250–270 mW. Puterea se creşte gradat până la apariţia unui punct albicios pe retină. Impactele sunt plasate la distanţa corespunzătoare lăţimii unei zone de impact.
- Se aplică un număr total de 1600–3000 impacte, în una sau mai multe şedinţe, evitând zona maculară şi orice zona în care sunt prezente tracţiunile retiniene. Impactele se aplică la 2–3 diametri papilari distanţă faţă de centrul maculei şi la 1 diametru distanţă faţă de papila nervului optic, de obicei în afara arcadelor şi periferic pană la ecuator sau mai departe.
- Tratamentul LASER nu se aplică pe vase retiniene mari, pe hemoragiile preretiniene, pe cicatricile corioretiniene sau la o distanţă mai mică de 1 diametru papilar faţă de centrul maculei pentru a evita riscul apariţiei hemoragiilor sau a scotoamelor întinse.
- Alte considerente:
  - Este necesară suplimentarea numărului impactelor LASER dacă se constată o înrăutăţire a RD proliferative.
  - Se adaugă impacte LASER printre cicatricile tratamentului anterior şi mult periferic, evitând zona cuprinsă între 500–1500 μm faţă de centrul maculei.
  - Se pune accentul pe cadranele cu neovascularizaţie existentă, pe zonele cu anomalii microvasculare intraretiniene unde cicatricile sunt distanţate şi pe zonele cu ischemie severă netratate anterior aşa cum este cazul zonei temporale.
  - Este posibil tratamentul direct al neovascularizaţiei apărute între cicatrici
  - Se poate folosi LASERUL diodă micropulsat infraliminar sau un LASER cu spot multiplu.

Scanned with OKEN Scanner

Tehnica fotocoagulării panretiniene (schema) conform reţelei consensuale de cercetare clinică asupra retinopatiei diabetic (DRCRNet)

Fotocoaugularea panretiniană constă iniţial dintr-un total de 1600–3000 de impacte (sau echivalentul zonei tratate cu LASER cu spot multiplu) cu o dimensiune a spotului pe retina de aproximativ 100–200 μm aplicate în patru până la şase şedinte finalizate în termen de 6 săptămâni (45 zile) de la iniţiere.

- Dacă pacientul prezintă anxietate semnificativă şi dureri la efectuarea PRP cu lampa cu fantă poate fi utilizată anestezia subtenoniană (retrobulbară). În rezultatul anesteziei motilitatea globului ocular va fi puţin restricţionată. Zonele periferice ale retinei nu vor fi vizualizate adecvat şi pot rămâne insuficient tratate LASER. Medicul necesită practică substanţială.
- Tratamentul PFC indirect cu anestezie retrobulbară permite indentare sclerală şi aplicarea laserului posterior până la ora serrata. În RDP periferia medie a retinei şi până la ora serrata reprezintă cea mai ischemică zonă confirmat prin studiul „widefield Optos studies".

TRATAMENTUL EDEMULUI MACULAR DIABETIC

- ***Sisteme medicale cu resurse multiple:***
  - **Optimizarea tratamentului medical**: îmbunătăţirea controlului glicemic dacă HbA1c>7,5%, precum şi tratarea hipertensiunii arteriale sistemice sau a dislipidemiei.
  - **EMD fără interesare centrală**. Necesită urmărire atenta până la progresarea spre centrul maculei sau se aplică LASER focal pentru microanevrismele *leaking* dacă amenintă îngroşarea foveei. Nu se aplică nici un tratament pe leziunile situate mai aproape de 300–500 μm faţă de centrul maculei.
  - **EMD cu interesare centrală şi acuitatea vizuală bună**: sunt propuse trei opţiuni de tratament:
    - urmărirea atenta şi injectii anti-VEGF în cazul agravării EMD
    - injectii anti-VEGF intravitreene;
    - fotocoagulare laser şi injecţii anti-VEGF la necesitate.
  - **EMD cu interesare centrală asociată cu scaderea vederii** (20/30; 0,6 sau mai slabă): injecţii intravitreene cu agenţi anti-VEGF (exemplu, Ranibizumab* – Lucentis 0,3 sau 0,5 mg; Bevacizumab* – Avastin 1,25 mg sau Aflibercept* – Eylea 2 mg).
    - Se iau în considerare injecţii lunare urmate de întreruperea tratamentului şi reluarea acestuia în funcţie de stabilitatea acuităţii vizuale şi a datelor OCT-ului.
    - Pacienţii se monitorizează lunar cu ajutorul OCT-ului pentru a stabili necesitatea tratamentului.

Scanned with OKEN Scanner

- În mod normal numărul de injecţii este de 8 în primul an, urmate de 2–3 în cel de-al doilea an şi 1–2 injecţii în cel de-al treilea an, 0–1 injecţii în anul patru şi cinci.
- În cazul în care îngroşarea retiniană şi a microanevrismele persistă, se ia în considerare posibilitatea efectuării tratamentului LASER după 24 de săptămâni.
- Poate fi luat în considerare şi tratamentul cu Triamcinolon* intravitrean, mai ales la pacienţii cu pseudofachie.
- Injecţiile se fac la 3,5–4 mm de limb, după anestezie topică şi utilizând o tehnică sterilă.

– **EMD asociat cu RD proliferativă**: se va lua în considerare monoterapia intravitreană cu agenţi anti-VEGF cu reevalurea pentru determinare necesităţii tratament PRP *versus* continuarea anti-VEGF în cazul rezolvării EMD.

– **Tracţiunile vitreo-maculare şi membranele epiretiniene** vizibile la OCT: se poate indica vitrectomie prin pars plana.

Managementul şi tehnica LASER pentru edemul macular (tabelul 5)

- Tratamentul macular focal include LASER focal la nivelul microanevrismelor şi tratamentul „grid" (grilă) al ariilor cu difuziune şi nonperfuzie focală situate la nu mai mult de doi diametrii papilari faţă de centrul maculei.
- Parametrii LASER folosiţi sunt: dimensiunea spotului 50–100 µm, o putere de 120–150 mW şi o intensitate foarte scazută a impactului. Se delimitează şi se evită zona avasculară foveolară cu grijă.
- Dacă EMD se asociază cu zone întinse de ischemie maculară, se tratează numai zonele de îngroşare retiniană.

Tabelul 5

Tehnica LASER pentru edemul macular

Caracteristicile impactelor	Fotocoagulare directă/grid (tehnica ETDRS-modificată)	Tehnica fotocoagulării maculare tip „grid" moderată
Tratament direct	Tratamentul direct al tuturor microanevrismelor în zonele cu îrgroşare retiniană situate între 500 şi 3000 µm faţă de centrul macular (dar nu la distanţă mai mică de 500µm faţă de papilă)	Nu se aplică
Schimbarea culorii microanevrismelor cu tratamentul direct	Nu este necesar, dar ar trebui să se vadă cel puţin o zonă de arsură uşoară sub toate microanevrismele	Nu se aplică
Dimensiunea impactului pentru tratamentul direct	50–100 µm	Nu se aplică
Durata impactului pentru tratamentul direct	0,05 până la 0,1 s	Nu se aplică

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5 (continuare)

Tratamentul „grid"	Se aplică pe toate ariile cu difuziune sau neperfuzate la nivelul zonei descrise alături pentru tratament	Se aplică pe întreaga zonă descrisă alături pentru tratament (inclusiv pe retina
Zonele unde se aplica tratamentul „grid"	• 500 până la 3000 µm superior, nazal şi inferior fata de centrul macular • 500 până la 3500 µm temporal faţă de centrul macular • nu se aplică nici un impact la mai puţin de 500 µm faţă de papilă	• 500 până la 3000 um superior, nazal şi inferior faţă de centrul macular • 500 până la 3500 um temporal faţă de centrul macular • nu se aplică nici un impact la mai puţin de 500 um faţă de papilă
Dimensiunea impactului pentru tratamentul „grid"	50–100 µm	50 µm
Durata impactului pentru tratamentul „grid"	0,05 până la 0,1 s	0,05 până la 0,1 s
Intensitatea impactului pentru tratamentul „grid"	Foarte puţin vizibil (gri deschis)	Foarte puţin vizibil (gri deschis)
Distanţa între impacte pentru tratamentul „grid"	Dimensiunea a două impacte vizibile	200 până la 300 impacte distribuite uniform pe zona de tratament descris mai sus (aproximativ dimensiunea a două până la trei impacte distanţă între ele)
Lungimea de undă (pentru tratamentul focal şi „grid")	Lungimi de undă verzi până la galbene	Verde

BIBLIOGRAFIE

1. Bandello, F, Brancato, R, *et al., Double-frequency Nd:YAG laser versus Argon-green laser in the treatment of proliferative diabetic retinopathy:randomized study with long-term follow-up,* 1996, Lasers Surg Med., 19(2):173–6.
2. Nikkhah, H, Ghazi, H, *et al., Extended targeted retinal photocoagulation versus conventional pan-retinal photocoagulation for proliferative diabetic retinopathy in a randomized clinical trial,* 2018, Int Ophthalmol, 38(1):313–321.
3. Chen Z, Song Y, *Functional and structural changes after pattern scanning laser photocoagulation in diabetic retinopathy* – Documenta ophthalmologica, 2013 127/1, 37.
4. Muquit, Marcellino, GR *et al., Randomized clinical trial to evaluate the effects of Pascal panretinal photocoagulation on macular nerve fiber layer: Manchester Pascal Study report 3,* 2011, Retina 31(8):1699–707.
5. Muraly, P. Limbad, P, *et al., Single session of Pascal versus multiple sessions of conventional laser for panretinal photocoagulation in proliferative diabetic retinopathy:a comparative study,* 2011, retina, 31(7):1359–65.
6. Diabetic retinopathy clinical research network, Gross, JG, Glassman, AR, *et al., Panretinal Photocoagulation versus Intravitreous Ranibizumab for Proliferative Diabetic Retinopathy: A Randomized Clinical Trial,* 2015, JAMA, 314(20):2137–2146.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 14

TRATAMENTUL LASER ÎN RETINOPATIA DIABETICĂ

ANDREI OLARU

- Diabetul este o boală sistemică, determinată de niveluri crescute ale glicemiei datorită unei secreții diminuate sau inadecvate de insulină. Prevalența bolii în țările industrializate este estimată între 3–4% din populație și crește cu înaintarea în vârstă. *World Heath Organization* (WHO) preconizează ca până în anul 2025, în Europa, se va dubla numărul de cazuri de diabet ca urmare a sedentarismului, îmbătrânirii populației și regimului alimentar neadecvat.
- Cea mai nouă clasificare împarte diabetul în 4 tipuri:
  - Diabet tip 1 toate formele de diabet datorate distrugerii autoimune a celulelor β-pancreatice ce duce la un deficit absolut de insulină
  - Diabet tip 2 datorat scăderii progresive a secreției insulinei de către celulele β-pancreatice frecvent asociate cu rezistența la insulină
  - Diabet gestațional diagnosticat în al doilea sau al treilea trimestru de sarcină, nediagnosticat înainte de sarcină
  - Diabet zaharat de altă natură: diabet neonatal, diabet cu debut la maturitate al tinerilor, diabet din boli exocrine ale pancreasului (fibroza chistică a pancreasului, pancreatita), diabet indus de medicamente (după utilizarea glucocorticoizilor cu HIV sau după transplant de organe) [1]
- **Retinopatia diabetică este cea mai importantă complicație a diabetului ce afectează ochii și reprezintă cea mai frecventă cauză de cecitate întâlnită la persoane cu vârsta cuprinsă între 20–60 de ani la nivel mondial**, fiind situată pe locul doi după degenerescențele maculare legate de vârstă. Se consideră că un procent între 4–15% din cazurile de cecitate sunt diabetici. Aproximativ 30% din pacienții cu diabet au retinopatie diabetică și aproximativ 1% prezintă forme severe de boală. Datorită unei simptomatologii ușoare în stadiile incipiente, pacienți se prezintă târziu la oftalmolog când deja leziunile retiniene sunt avansate, ceea ce afectează eficacitatea tratamentului [2].
- Printre factorii de risc principali în apariția retinopatiei diabetice se numără: durata de evoluție a diabetului, afectarea metabolismului glucozei,

Scanned with OKEN Scanner

hipertensiune arterială necontrolată terapeutic în cazul în care pacientul prezintă, dislipidemia, sarcina, obezitatea.

- **Retinopatia diabetică este definintă ca fiind sinergia de leziuni vasculare şi tisulare, de natură exsudativă, proliferativă, degenerativă determinate de microangiopatia diabetică retiniană.**
- Modificările morfopatologice ce apar în retinopatia diabetică sunt:
  - Microangiopatia ce afectează capilarele cu îngroşarea membranei bazale şi scăderea numărului de pericite cu rol în controlul presiunii interioare a capilarelor, participarea la transportul molecular transmembranal şi rol inhibitor asupra creşterii celulelor endoteliale cu rol în controlul homeostaziei, permeabilităţii vaselor, fiind responsabile şi de transportul activ de molecule. Alterarea epiteliului pigmentar materializat prin îngroşarea progresivă a membranei bazale a epiteliului pigmentar şi necroza focală a epiteliului pigmentar;
  - Exsudaţia apare datorită creşterii permeabilităţii vasculare manifestată prin transudate şi exsudate, secundară modificărilor barierei hemato-retinene. Exsudatele reprezintă acumulări extracelulare de lipoproteine datorită distrugerii barierei hemato-retiniene. Exsudatele vătoase apar în zonele de ischemie retiniană, nefiind patognomonic pentru retinopatia diabetică;
  - Edemul apare datorită creşterii difuziunii vaselor sanguine retiniene, scăderea reabsorbţiei lichidelor retiniene, producţia anormală intraretiniană de lichide;
  - Microanevrismele apar datorită scăderii rezistenţei parietale a capilarelor datorită scăderii numărului de pericite.
  - Hemoragiile apar datorită extravazării eritrocitelor din lumenul vascular, apar de obicei în vecinătatea microanevrismelor;
  - Vasele de neoformaţie apar secundar hipoxiei retinene produse la marginea zonelor de nonperfuzie vasculară [2,4,5].

Clasificarea VAHEX, *Venous dilatation* (V), *microAnevrysm* (A), *Hemorrhagic activity* (H), *retinal Edema* (E), *eXsudate formation* (X) împarte retinopatia diabetică în:

- **Retinopatie diabetică neproliferativă** (*background*) cuprinde dilatări venoase, microanevrisme, hemoragii, edem şi exudate retinene;
- **Retinopatia diabetică proliferativă** cuprinde pe lângă modificările din retinopatia diabetică neproliferativă şi neovascularizaţia discului sau retiniană, proliferare glială, tracţiuni vitreo-retiniene, dezlipire de retină.

Clasificarea DRS (*Diabetic Retinopathy Study*) şi ETDRS (*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group*):

- **Retinopatia neproliferativă *background*:**
  A. Retinopatie uşoară când este prezent cel puţin un microanevrism, o hemoragie retiniană sau un exsudat dur;
  B. Retinopatie moderată când apar hemoragii în mai multe cadrane, anomalii vasculare intraretiniene, dilataţii venoase în cel puţin un cadran.
- **Retinopatie preproliferativă**: vene dilatate, noduli disorici, ischemie periferică, anomalii microvasculare intraretiniene, hemoragii intraretiniene întinse

Scanned with OKEN Scanner

- **Retinopatie proliferativă:**
  A. Retinopatie proliferativă forma uşoară, în plus faţă de modificările din retinopatia preproliferativă apar şi neovase <0,5 diametrii papilari (DP) în unul sau mai multe cadrane;
  B. Retinopatie proliferativă forma moderată apar neovase ≥ 0,5 DP în unul sau mai multe cadrane şi apare şi neovascularizaţia papilei nervului optic;
  C. Retinopatie proliferativă cu risc înalt caracterizată de apariţia neovaselor pe papila nervului optic > 0,3 DP, hemoragii vitreene;
  D. Retinopatie proliferativă cu rubeoză iriană caracterizată de apariţia neovaselor iriene, cu risc de apariţie a glaucomului secundar neovascular [6,7].

Maculopatia diabetică constituie principala cauză ce duce la scăderea acuităţii vizuale la pacienţii cu retinopatie diabetică şi poate fi întâlnită în orice stadiu al acesteia, fiind determinată de afectarea foveolară prin creşterea edemului macular ischemia. Din punct de vedere clinic sunt descrise două forme ale maculopatiei:

- **Forma edematoasă**, caracterizată din punct de vedere subiectiv de apariţia metamorfopsiilor şi scăderea vederii centrale, obiectiv se observă apariţia edemului macular cu absenţa reflexului foveolar. Clinic este împărţită în:
- Forma focală exsudativă caracterizată de prezenţa exsudatelor dure, edemului retinian, microanevrisme situate în apropierea maculei. Angiofluorografia (AFG) pune în evidenţă hiperfluorescenţa zonei respective.
- Forma difuză caracterizată de prezenţa exsudatelor dure, microanevrismelor, edemului retinian pe zone mai întinse din maculă, fiind consecinţa creşterii permeabilităţii capilarelor retiniene. AFG decelează în faza arteriovenoasă difuziunea precoce a colorantului în zona perifoveolară, difuziune amplificată în fazele tardive aspect tipic de „petale de floare".
- **Forma ischemică** ce apare datorită scăderii perfuziei maculare, angiofluorografic se observă mărirea zonei avasculare centrale, în timpul arteriovenos în regiunea macular o zonă de excludere. Clinic poate fi împărţită în:
  - Maculopatie ischemică produsă de obstrucţia capilară cu lărgirea zonei foveolare avasculare
  - Edem macular semnificativ clinic caracterizat de apariţia edemului macular şi exsudatelor dure la mai puţin de 500 μm de fovee, edem retinian de 1 DP sau mai mare, sub 1 DP de centrul foveei.
- **Maculopatia mixtă** prin prezenţa atât a formei edematoase cât şi a formei ischemice.

Forme clinice de retinopatie diabetică

- **Retinopatia diabetică *background* incipientă şi moderată** este caracterizată:
  - Microanevrismele din vecinătatea teritoriilor de ocluzie capilară;
  - Hemoragiilor intraretiniene dispuse pe toată suprafaţa retinei;

Scanned with OKEN Scanner

- Exsudatele dure;
- Anomalii microvasculare intraretiniene (IRMA) reprezentate de capilare dilatate, tortuoase, teleangiectazice situate în vecinătatea teritoriilor de non-perfuzie.
  - AFG evidenţiază ocluziile capilare în special în regiunea maculară, IRMA, microteritorii de ocluzie vasculară şi capilare dilatate.

– **Retinopatia diabetică *background* severă şi foarte severă (Retinopatia diabetică preproliferativă)** caracterizată din punct de vedere clinic de prezenţa în afară de modificările din retinopatia diabetică *background* incipientă şi moderată şi apariţia anomaliilor venoase (vene moniliforme, strâmtorările venelor, întecuiri, exsudate perivenoase), a exsudatelor vătoase semn al agravării ischemiei şi decompensării renale. Sunt două forme clinice:
  - retinopatia diabetică *background* severă caracterizată de prezenţa a cel puţin una dintre următoarele modificări: prezenţa microanevrismelor, hemoragiilor în cel puţin 4 cadrane, anomalii venoase în cel puţin două câmpuri, anomalii microvasculare moderate în cel puţin un cadran;
  - retinopatia diabetică *background* foarte severă când sunt prezente minim 2 dintre cele trei modificări prezentate anterior.
    - AFG evidentiaza dilatări şi/sau întecuiri venoase, îngustările şi/sau obstrucţiile ramurilor arteriale retiniene, hipofluorescenţa focală cu zone de nonperfuzie capilară, hiperfluorescenţa focală cu obstrucţii capilare fără difuzie.

– **Retinopatia diabetică proliferativă** este caracterizată de proliferarea ţesutului de neoformaţie de natură vasculară, fibroasă sau glială. Din punct de vedere clinic în acest stadiu apar:
  - Neovascularizaţia ce ia naştere din buclele vasculare din venule care poate fi:
    - Neovascularizaţie prepapilară ce începe din reţelele capilare ce iau naştere din vasele superficiale ale papilei în oricare din cele 4 cadrane, cu o dezvoltare preferenţială pentru arcadele temporale. Se poate întinde centrifug dinspre papilă spre retina învecinată şi uneori chiar în maculă. Aceste vase de neoformaţie trec prin membrana limitantă internă şi pot adera la hialoida posterioară producând tracţiuni.
    - Neovascularizaţie papilo-vitreană ce se întinde între papilă şi cavitatea vitreană şi poate îmbrăca mai multe forme: neovascularizaţia arciformă când vasele apar de-a lungul arcadelor vasculare, neovascularizaţia confluentă întinsă între papilă şi vitros, fără extensie laterală, neovascularizaţia în coloană când se întinde de-a lungul hialoidei posterioare şi nu vine în contact cu arcadele vasculare.
    - Neovascularizaţia preretiniană cu punct de plecare de la o zonă de retină perfuzată ce se află situată lângă o zonă de nonperfuzie capilară, dezvoltată cel mai frecvent din marile vene retiniene, cu posibilitatea de a se dezvolta şi din venele mici sau din capilare, la extremitatea arcadelor vasculare sau la polul posterior.

Scanned with OKEN Scanner

- Proliferarea fibroasă ce poate să apară asociată cu neovascularizația peripapilară sau se poate dezvolta izolat pe suprafața papilei nervului optic sau de-a lungul arcadelor vasculare cu predilecție către arcada temporală, ultimul stadiu fiind cel de glioză circulară când sunt interesate papila, arcadele vasculare și o zonă de retină temporală dintre arcade [8,9].
  - În acest stadiu pe lângă modificările AFG descrise anterior în retinopatia diabetică neproliferativă și proliferativă, se adaugă apariția precoce a fluorescenței anormale în vasele de mici dimensiuni situate la nivelul papilei (NVD) și/sau retinei (NVE), ce crește ca și intensitate în timpii tardivi însoțită de difuziunea colorantului, hipofluorescența de mascaj intensă de mărime variabilă, bine delimitată fiind expresia unor hemoragii preretiniene, hiperfluorescența anormală cu apariție precoce si difuziune tardivă, expresia proliferărilor fibrovasculare.
- Diagnosticul pozitiv este pus pe modificările oftalmoscopice specifice fiecărei forme clinice, însoțit de retinofotografii stereoscopice ale fundului de ochi, modificările angiofluorografice, examinarea biomicroscopică și gonioscopică în cazul rubeozei iriene și modificările specifice edemului macular, maculopatiei cistoide, exsudatelor dure evaluate cu ajutorul OCT-ului de maculă.
- Diagnosticul diferențial al retinopatiei diabetice se face cu ocluzia de arteră centrală a retinei (OACR), ocluzia de venă centrală a retinei (OVCR), sindromul de ischemie oculară, retinopatia hipertensivă, OVCR veche cu neovase, retinopatia din bolile hematologice.
- Complicațiile retinopatiei diabetice pot surveni încă din stadiul preproliferativ și sunt reprezentate de hemoragii preretiniene, intravitreene, rubeoza iriană, glaucom secundar neovascular, tracțiuni vitreoretiniene ce prin contracția lor progresivă pot duce la decolare de retină (DR), apariția de membrane opace ce pot fi localizate în regiunea maculară ce duc la scăderea acuității vizuale (AV), proliferare fibrovasculară hialoidiană și edem macular refractar la tratamentul LASER.

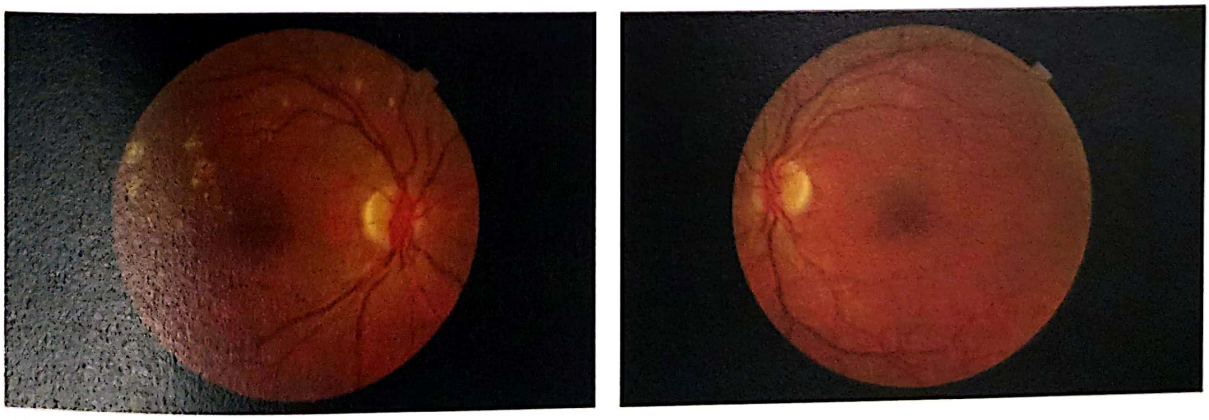


Figura 1. OD Retinopatie diabetică preproliferativă cu maculopatie;
OS Retinopatie diabetică preproliferativă.

Scanned with OKEN Scanner

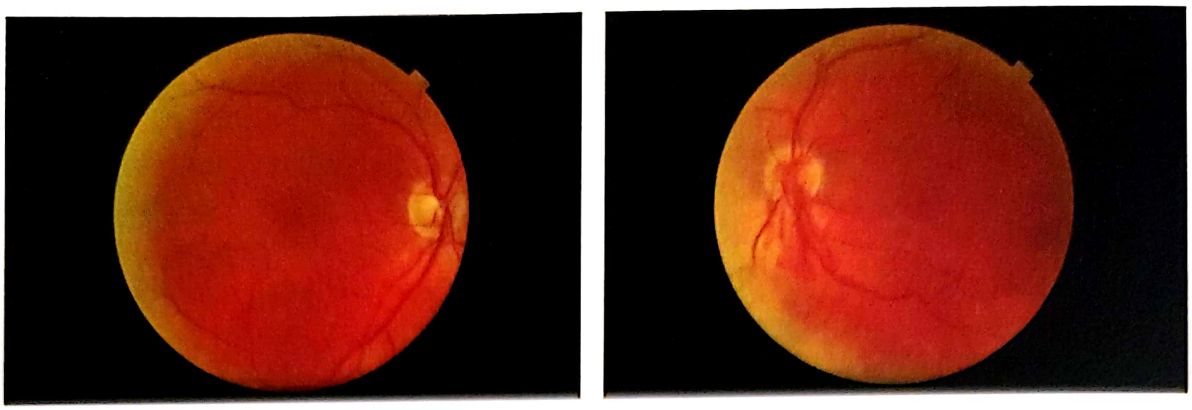


Figura 2. OD Retinopatia diabetică proliferativă cu risc OS Retinopatie diabetică proliferativă cu risc înalt.

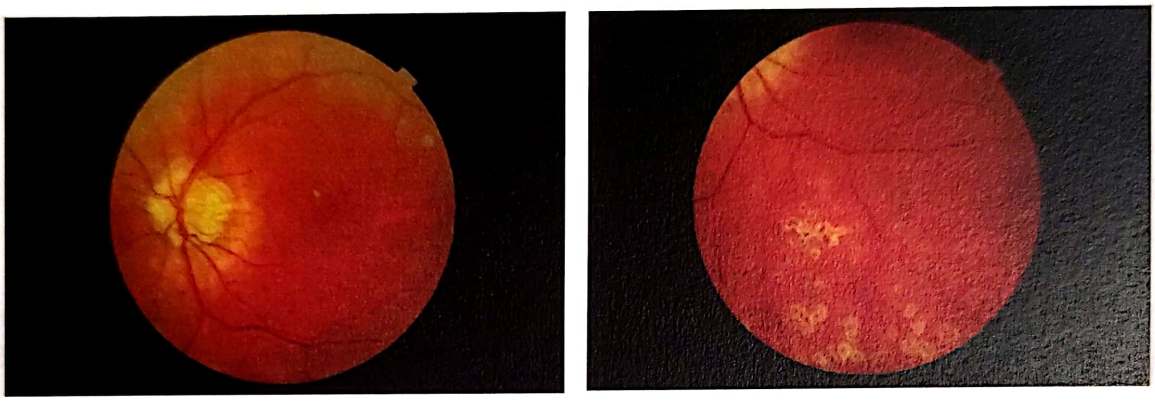


Figura 3. Retinopatie diabetică proliferativă cu aplicații LASER.

- **Tratamentul de elecție în retinopatiile preproliferative și proliferative este fotocoagularea zonelor de non-perfuzie, datorită faptului că produce atrofie retiniană și inactivează aceste zone.**
- **Tratamentul laser în retinopatia diabetică poate fi făcut cu ajutorul LASERULUI Yag-Nd cu dublă frecvență, LASERULUI cu Argon, LASERULUI cu Kripton sau cu diodă în cazul hemoragiilor vitreene sau cataractei.** Fotocoagularea retiniană presupune aplicarea de puncte LASER ce produc arsuri la nivelul retinei distrugând teritoriile ischemice, ceea ce inhibă procesul de neovascularizație.
- **Fotocoagularea se poate face localizat în cazul edemului macular clinic semnificativ sau se poate face pe toată suprafața câmpului retinian (panfotocoagulare) evitând regiunea cuprinsă între arcadele vasculare temporale.**
- Înainte de începerea tratamentului LASER pacientul trebuie înștiințat asupra complicațiilor ce pot apărea în urma tratamentului LASER precum apariția de scotoame în câmpul vizual ce pot avea drept consecință pierderea dreptului de a conduce vehicule motorizate, scăderea vederii centrale, scăderea vederii nocturne și cromatice.
- La marea majoritate a pacienților se practică anestezia topică. În anumite cazuri, se poate practica anestezie peribulbară sau subconjunctivală.

Scanned with OKEN Scanner

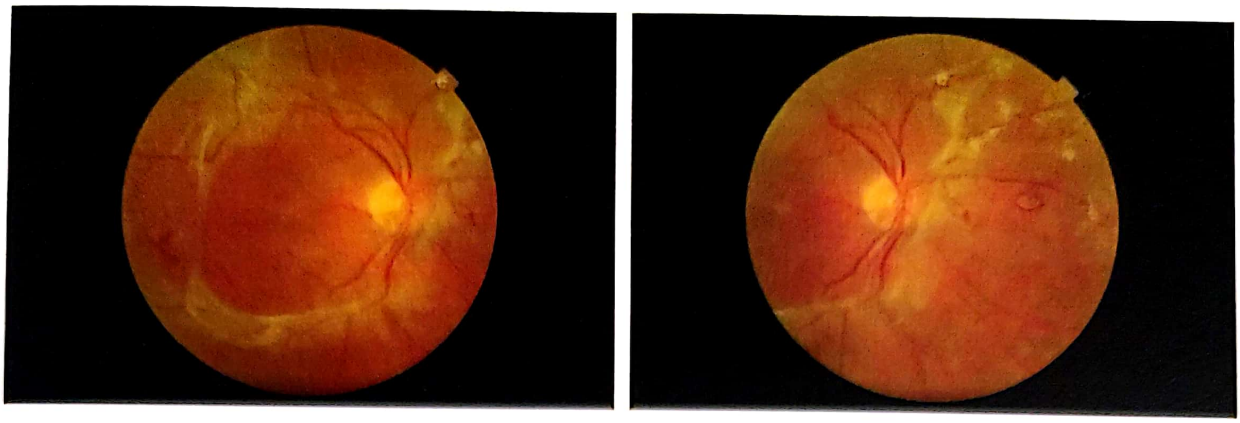


Figura 4. Retinopatie diabetică proliferativă complicată.

- **Protocol LASER în retinopatia diabetică neproliferativă:**
  - În retinopatia diabetică neproliferativă se practică fotocoagularea focală utilizând următorii parametrii: spot de 50–100 μm, putere 500–750 mW în funcție de modificarea culorii microanevrismului sau de discreta albire a retinei, durata 0,1–0,05 s. Se pun multiple impacte distanțate între ele la interval de un impact, în câteva ședințe repetate pe perioade lungi sau tratament laser grid impactele sunt de intensitate mai scăzută, aplicate în zonele de îngroșare difuză situate la mai mult de 500 μm de centrul foveei și la 500 μm de marginea temporală a papilei nervului optic. Complicațiile tratamentului pot să apară în urma unui dozaj incorect ce duce la apariția neovascularizației subretininene și/sau apariția edemului macular cistoid.
- **Protocol LASER în retinopatia diabetică proliferativă**
  - În retinopatia diabetică proliferativă se practică panfotocoagularea LASER folosind următorii parametri: spot de 500 μm separate de intervale libere de 250 μm, aplicate într-o arie situată la 2–3 DP de centrul maculei, durata 0,1 s, minim 1200 de impacte divizate în mai multe ședințe. PFC se începe în apropierea discului, sub și de-a lungul arcadei inferioare temporale, apoi se continuă deasupra și de-a lungul arcadei superioare formând astfel bariera macular, apoi se continuă PFC în sectorul nazal, respectând cei 2–3 DP, și apoi se continuă în periferie. Trebuie evitate zonele de proliferare vasculară, zonele de tracțiune și zonele de decolare de retină [10-12].
- Monitorizarea pacienților post-PFC presupune control la 4–6 săptămâni, urmărind regresia vaselor de neoformație, resorbția hemoragiilor retiniene, apariția de țesut fibros asociat vaselor de neoformație, modificările venoase.
- PFC nu trebuie făcută într-o singură ședință deoarece este asociată cu o creștere a riscului de apariție a complicațiilor. Printre complicațiile PFC se numără:
  - scăderea simțului cromatic
  - scăderea vederii nocturne

Scanned with OKEN Scanner

- scăderea vederii periferice
- scăderea AV centrale
- începețoșarea vederii
- fotopsii.

BIBLIOGRAFIE

1. American Diabetes Association. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes–2020. Diabetes Care. 2020 Jan;43(Suppl 1):S14-S31. doi: 10.2337/dc20–S002.
2. Cernea P – Tratat de Oftalmologie, Ed. Medicală, 2002.
3. Cheung N, Mitchell P, Wong TY. Diabetic retinopathy. Lancet. 2010 Jul 10;376(9735):124–36. doi: 10.1016/S0140–6736(09)62124–3.
4. Dumitrache Marieta – Tratat de Oftalmologie, Ed. Universitară 2005.
5. Lechner J, O'Leary OE, Stitt AW. The pathology associated with diabetic retinopathy. Vision Res. 2017 Oct;139:7–14. doi: 10.1016/j.visres.2017.04.003.
6. Hammes HP. Diabetic retinopathy: hyperglycaemia, oxidative stress and beyond. Diabetologia. 2018 Jan;61(1):29–38. doi: 10.1007/s00125–017–4435–8.
7. Wilkinson CP, Ferris FL 3rd, Klein RE, Lee PP, Agardh CD, Davis M, Dills D, Kampik A, Pararajasegaram R, Verdaguer JT; Global Diabetic Retinopathy Project Group. Proposed international clinical diabetic retinopathy and diabetic macular edema disease severity scales. Ophthalmology. 2003 Sep;110(9):1677–82. doi: 10.1016/S0161–6420(03)00475–5.
8. Graham-Rowe E, Lorencatto F, Lawrenson JG, Burr J, Grimshaw JM, Ivers NM, Peto T, Bunce C, Francis JJ; WIDeR-EyeS Project team. Barriers and enablers to diabetic retinopathy screening attendance: Protocol for a systematic review. Syst Rev. 2016 Aug 11;5(1):134. doi: 10.1186/s13643–016–0309–2.
9. Ghamdi AHA. Clinical Predictors of Diabetic Retinopathy Progression; A Systematic Review. Curr Diabetes Rev. 2020;16(3):242–247. doi: 10.2174/1573399815666190215120435.
10. Stitt AW, Curtis TM, Chen M, Medina RJ, McKay GJ, Jenkins A, Gardiner TA, Lyons TJ, Hammes HP, Simó R, Lois N. The progress in understanding and treatment of diabetic retinopathy. Prog Retin Eye Res. 2016 Mar;51:156-86. doi: 10.1016/j.preteyeres.2015.08.001.
11. Klein R, Klein BE, Moss SE, *et al.*, The Winsconsin Epidemiologic Study of Diabetic Rethinopathy when age of diagnosis is 30 years or more. Arch Ophthalmol. 1989;107:244–9.
12. Relhan N, Flynn HW Jr. The Early Treatment Diabetic Retinopathy Study historical review and relevance to today's management of diabetic macular edema. Curr Opin Ophthalmol. 2017 May;28(3):205–212. doi: 10.1097/ICU.0000000000000362.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 15

TRATAMENTUL LASER ÎN AFECŢIUNILE VASCULARE RETINIENE

CARMEN MOCANU

- **Complicaţiile neovascularizaţiei retiniene şi coroidiene sunt numeroase şi în absenţa tratamentului instituit la timp pot determina atât pierderea funcţională cât si în unele situaţii pierderea anatomică a globului ocular.**
- Deşi în acest stadiu s-au pus la punct protocoale eficiente de tratament medicamentos a neovascularizaţiei retiniene, care acţionează prin inhibarea mecanismelor de proliferare neovasculară, suntem de departe de a fi rezolvat această problemă care poate fi considerată problemă de sănătate publică prin riscul crescut de cecitate pe care îl induce neovascularizaţia [1].
- **În aceste condiţii, fotocoagularea LASER retiniană rămâne în acest moment una din metodele de elecţie utilizată în tratamentul neovascularizaţiei retiniene şi coroidiene.**
  - Efectul de fotocoagulare reprezintă efectul predominant pentru puteri relativ slabe ale LASERELOR cu emisie continuă, dintre care de departe cel mai utilizat este **LASERUL argon**.
    - Energia luminoasă absorbită este transformată în căldură, inducând denaturarea proteinelor care stă la originea leziunilor clinice şi histologice. Aceasta depinde de natura ţesutului iradiat, adică de capacitatea acestuia de absorbţie a fotonilor, precum şi de cantitatea de energie eliberată pe unitatea de suprafaţă [2].
- La nivelul corioretinei **efectul LASERULUI este legat de absorbţia acestuia la nivelul diferiţilor pigmenţi:**
  - Melanina absoarbe foarte bine lungimea de undă a LASERULUI Argon; la nivelul epiteliului pigmentar se produce creşterea temperaturii care va difuza spre ţesuturile adiacente, straturile externe ale retinei şi coriocapilară [3].
    - Bogăţia în pigment diferă de la o persoană la alta şi mai mult de la o zonă retiniană la alta, astfel că este necesară o ajustare permanentă a parametrilor LASER pentru fiecare zonă fotocoagulată.
    - La nivelul zonei maculare, LASERUL cu Argon formează două focare lezionale: unul la nivelul epiteliului pigmentar şi altul în

Scanned with OKEN Scanner

straturile interne ale retinei. Aceste două focare nu pot fi explicate decât prin absorbţia radiaţiilor de către pigmentul galben macular; acest pigment absoarbe mai ales raza albastră a LASERULUI argon, cea care transportă cea mai multă energie.

- De aceea, LASERUL argon tradiţional nu poate fi utilizat pentru tratamentul leziunilor profunde subretiniene dacă ele se apropie la o distanţă mai mare de 200–300 μ de foveolă.
- Hemoglobina absoarbe bine razele LASERULUI argon. Este deci foarte periculos şi de aceea contraindicat de tratat o retină cu hemoragii pe suprafaţa acesteia. Căldura degajată prin absorbţia energiei de hemoglobină se disipează în curentul circulator, motiv pentru care nu se poate obţine fotocoagularea vaselor prin efect direct.
- Este posibilă însă fotocoagularea unor vase de calibru mai mic prin efect indirect ţintind asupra epiteliului pigmentar subiacent, care acţionează ca o placă termică [4].

TIPURI DE LASERE UTILIZATE ÎN FOTOCOAGULAREA RETINEI

- **LASERUL cu argon** este utilizat în mai multe varietăţi în funcţie de lungimea de undă: **LASER 488 nm (albastru) şi LASER 514 nm (verde).** LASERUL argon albastru conţine în fapt 70% radiaţie albastră (488 nm) şi 30% radiaţie verde (514 nm), fiind intens absorbit de melanină, ceea ce se traduce clinic prin leziuni ale straturilor externe ale retinei.
  - Avantajele constau pe lângă absorbţia foarte bună de melanină şi într-o absorbţie bună de către hemoglobină alături de o bună transmisie prin mediile optice ale ochiului. Pigmentul xantofil localizat la nivelul straturilor plexiform extern şi intern şi la nivelul cristalinului opacifiat poate furniza deopotrivă o zonă de absorbţie pentru lumina albastră-verde. Absorbţia este mai slabă pentru lumina verde şi practic nulă pentru lumina roşie şi galbenă. Hemoglobina absoarbe în mod particular lungimi de undă inferioare lungimii de 600 nm. Se utilizează cu precauţie în zonele retiniene mai subţiri sau hiperpigmentate [5].
    - În cazul laserului cu argon, 51,5% din energia emisă este absorbită de epiteliul pigmentar, 7,8% de coriocapilară şi hemoglobină, 4,2% de hemoglobină, 16,8% de melanina de la nivelul coroidei, 18,5% este disipată în mediile oculare şi 1,2% ajunge la nivelul sclerei.
- **LASERUL argon verde, care emite în 514 nm**, este puţin absorbit de pigmentul xantofil, dar este bine absorbit de hemoglobină şi melanină. Prezintă avantajul de a putea fi utilizat pentru coagularea directă a vaselor în cazuri de ruptură vasculară survenită prin accident. Ocluzia vasculară este secundară contracţiei colagenului de la nivelul peretelui vascular sau

Scanned with OKEN Scanner

absorbţiei hemoglobinei care coagulează datorită creşterii temperaturii din interiorul vaselor. Ruperea membranei Bruch printr-un efect termic prea accentuat, determină invazia ţesutului neovascular subretinian format la nivelul coriocapilarei.

- În fotocoagularea perimaculară este de preferat aplicarea LASERULUI argon verde. Lumina albastră, fiind absorbită în straturile mediane ale retinei poate să producă leziuni ale fibrelor nervoase, motiv pentru care este inadecvată tratamentului leziunilor zonei perifoveolare. În acelaşi timp în prezenţa unui edem retinian, dispersia şi diluţia pigmentului xantofil poate permite realizarea unei fotocoagulări în lumină albastră [6].

- **LASERUL krypton roşu** se utilizează lungimea de undă de **647 nm**, fiind de preferat **pentru coagularea regiunii foveolare** avasculare. De asemenea, şi-a dovedit superioritatea în **PFC retinopatiilor hemoragice şi în tratamentul neovascularizaţiei subretiniene.**
- **LASERUL dye**
  - **galben-roşu** este un LASER a cărui emisie variază între **360 şi 960 nm**. Este un LASER de energie înaltă, foarte costisitor. LASERUL dye roşu are aceleaşi indicaţii ca şi LASERUL krypton roşu respectiv în **neovascularizaţia subretiniană maculară, coagulare panretiniană în caz de hemoragii moderate intraoculare**, deoarece permite o mai bună transmisie prin opacităţile mediilor oculare decât LASERUL argon. Energia acestui LASER are o mai mare penetrabilitate în straturile profunde comparativ cu LASERUL argon.
  - **portocaliu** este util în fotocoagularea neovascularizaţiei subretiniene parafoveolare şi în tratamentul tumorilor vasculare ale retinei şi coroidei. Laserul dye galben este folosit în tratamentul neovascularizaţiei retiniene, telangiec-taziilor retiniene şi în cazul prezenţei unor structuri vasculare anormale intraretiniene.
- **Indiferent de tipul LASERULUI utilizat, leziunile histologice sunt asemănătoare**. Ideea de a modifica aportul de oxigen către retina internă este bazată pe observaţiile histologice conform cărora fotocoagularea distruge numai straturile externe ale retinei. Astfel oxigenul difuzat de la nivelul coroidei nu mai este consumat de către fotoreceptori; ajungând la nivelul retinei interne, creşte oxigenarea straturilor interne ischemice [7].
  - După fotocoagulare presiunea parţială a oxigenului măsurată la nivel preretinian creşte la valori semnificativ mai ridicate comparativ cu zonele nefotocoagulate. Se cunoaşte că în microangiopatia diabetică, presiunea parţială a oxigenului în teritoriile ischemice este net inferioară comparativ cu zonele retiniene normale. Ipoteza că normalizarea presiunii parţiale a oxigenului în zonele iniţial hipoxice determină regresia producerii de factori vasoproliferativi rămâne de demonstrat. Studiile pe culturi de celule epiteliale pigmentare au identificat factorul chimic care inhibă proliferarea celulelor endoteliale (PEDF); acesta este secretat în cantitate crescută dacă celulele epiteliului pigmentar sunt în creştere [8].
  - Efectele hemodinamice au putut fi studiate cu ajutorul velocimetrului bidimensional. **După panfotocoagulare se observă o diminuare**

Scanned with OKEN Scanner

semnificativă a fluxului sanguin şi o ameliorare a reglării debitului retinian. Valoarea acestei ameliorări este semnificativ corelată cu importanţa regresiei neovaselor. Aceste modificări sunt mai evidente în fotocoagularea teritoriilor retiniene periferice comparativ cu zonele centrale. În final scăderea punctelor de fugă prin diminuarea suprafeţei totale a vaselor care prezintă permeabilitate patologică, permite regresia edemului retinian.

- Panfotocoagularea acţionează asupra neovascularizaţiei, antrenând reproliferarea celulelor epiteliului pigmentar; această ipoteză explică însă numai regresia neovaselor subretiniene şi nu şi celor preretiniene.
  - Fotocoagularea, distrugând celulele alterate ale epiteliului pigmentar antrenează o refacere a barierei hematoretiniene, deschizând deopotrivă numeroase canale pentru schimburile metabolice între retină şi coroidă.
  - Aceasta se realizează prin ruptura barierei hematoretiniene externe, în timp ce tratamentul LASER determină deopotrivă proliferarea celulelor endoteliale ale capilarelor şi venulelor retiniene antrenând prin aceasta restaurarea barierei hematoretiniene interne.
- La nivelul ţesutului de impact lumina absorbită produce o creştere a temperaturii care determină coagularea proteinelor. Procesele de reparaţie sub influenţa efectului termic încep la câteva ore după fotocoagulare şi sunt caracterizate de prezenţa macrofagelor în spaţiul dintre celulele fotoreceptoare ale retinei externe. Celulele epiteliului pigmentar se comportă ca şi celule macrofagice specifice pentru fotoreceptorii retinieni, crescând volumul zonelor lezionale tisulare. Diviziunea celulelor endoteliale ale coriocapilarei, a celulelor fibroblastice de origine coroidiană, a melanocitelor şi celulelor Műller survine ca răspuns la distrucţia celulelor neuronale.
  - În primele zile după impact se produce o vacuolizare edematoasă a epiteliului pigmentar, a articolului extern şi intern al fotoreceptorilor şi a stratului nuclear extern. Folosind energii de intensitate medie, celelalte straturi retiniene sunt foarte puţin afectate.
- **Cicatricea postlaser se formează după aproximativ 14–20 de zile reprezentată de proliferarea celulelor gliale, cu aderenţe între epiteliul pigmentar şi neuroepiteliu,** cazuri în care membrana limitantă externă lipseşte în centrul leziunii. Cei mai mulţi dintre autori consideră că dacă membrana limitantă externă rămâne intactă, aderenţa între cele două straturi nu se produce. În cazul utilizării unei unde laser cu intensitate mică, secţiunile microscopice relevă dezorganizarea epiteliului pigmentar cu proliferarea celulelor.
  - Pentru tratamentul eficient este necesară o intensitate suficientă a undei LASER, pentru ca aceasta să determină lezarea MLE, pentru a se produce aderenţa între EP şi neuroepiteliu; în zonele în care fotoreceptorii au dispărut în totalitate, expansiunile externe ale celulelor Műller vin în contact direct cu celulele EP şi se formează cicatricea aderentă.
  - Dacă puterea de aplicaţie a undei laser este prea mică, acest lucru nu se realizează: acest aspect este dovedit de aspectele histologice, în care este evident că în locurile unde MLE este intactă nu se formează aderenţe.

Scanned with OKEN Scanner

- Dacă puterea de aplicaţie a LASERULUI este foarte mare, destrucţiile foarte importante duc la formarea de chisturi intraretiniene şi la afectarea straturilor retinei interne; în aceste situaţii tratamentul laser eşuează.
- În stratul nuclear extern în fotocoagularea recentă apar zone de vacuolizare şi edem, în cicatricele vechi se constată scăderea numărului nucleelor şi proliferare glială moderată. În cazul leziunilor cu intensitate mică, membrana limitantă externă rămâne intactă şi nu apar aderenţe între EP şi neuroepiteliu [9].

- În leziunile produse de **impacte cu intensitate mare (peste 300 mW)**, apare proliferarea masivă a epiteliului pigmentar cu dezorganizarea totală a neuroepiteliului. Se produce în acest caz ruperea MLE cu dispersia de nuclei din stratul nuclear extern, în spaţiul interfotoreceptor. Nici în această situaţie aderenţa între EP şi neuroepiteliu nu se poate realiza, deoarece cele două straturi se îndepărtează prea mult şi celulele Műller cu suprafaţa libera la marginea leziunii (unde s-a rupt MLE) se unesc formând chisturi intraretiniene, vizibile histologic [10].
- În cazul coagulărilor cu **intensitate medie** leziunile recente prezintă edem şi vacuolizare mai ales în stratul nuclear extern şi articolul extern şi intern al fotoreceptorilor şi proliferare moderată a EP. Ruperea MLE este demonstrată prin dispersia de nuclei din stratul nuclear extern în spaţiul interfotoreceptor. Articolul extern şi intern al fotoreceptorilor este profund afectat sau lipseşte în totalitate în unele zone; în aceste situaţii EP este moderat hipertrofiat şi se produce aderenţa dintre acesta şi neuroepiteliu. Examenul microscopic al unei leziuni de 28 de zile arată dispariţia aproape totală a stratului nuclear extern în centrul leziunii. De asemenea este evidentă pe secţiunile histologice dispariţia MLE în zona centrală a impactului laser [11].
  - Examenul electronomicroscopic al zonei de aderenţă prezintă următoarele modificări: în centrul leziunii capilarele coroidiene în parte sunt dispărute, EP este monostratificat şi prezintă microvilozităţi lungi şi foarte dese care vin în contact direct cu celulele vacuolizate, nediferenţiate. În această zonă nu găsim decât resturi dispersate din articolul extern sau intern al fotoreceptorilor, nucleii celulelor fotoreceptoare de asemenea sunt în mare parte alteraţi sau lipsesc. În centrul leziunii apar celule retiniene vacuolizate, care sunt interpretate histologic ca expansiuni distale ale celulelor Műller.
    - Sub zona de aderenţă capilarele dispar ori îşi pierd fenestraţia (Peyman) ceea ce înseamnă că devin capilare care au barieră hematooculară. Acest lucru explică comportamentul cicatricelor laser în timpul angiofluorografiei, respectiv în faza coroidiană şi arterială centrul leziunii nu se colorează, dovedind că atât capilarele coroidiene cât cele retiniene nu prezintă difuzie a colorantului. La marginea leziunii apar pe rând, capilarele coroidiene, nucleii fotoreceptorilor şi expansiunile externe şi interne ale fotoreceptorilor când apare şi MLE. La marginea leziunii, unde capilarele coroidiene sunt normale cu fenestraţie, celulele EP au suferit în timpul impactului, se dezvoltă epiteliopatie, fluoresceina difuzând la nivelul ţesutului.

Scanned with OKEN Scanner

TRATAMENTUL LASER ÎN OCLUZIA DE VENĂ CENTRALĂ A RETINEI

OVCR este determinată de prezenţa unor trombi la nivelul laminei criblata, care obturează fluxul venos la ieşirea din globul ocular.

- **Edemul macular şi neovascularizaţia sunt cele mai frecvente probleme asociate OVCR, sau ocluziei de ram venos al VCR.**
  - ***Dacă edemul macular persistă poate influenţa iriversibil AV; în această situaţie este indicat tratament LASER focal.***
  - ***Dacă neovascularizaţia este extinsă este indicat tratamentul LASER segmentar al zonei afectate sau PFC.***
    - **Tratamentul focal** – se aplică zone mici de laser focalizat pe aria de leakage în jurul maculei; angiofluorografia ajută la identificarea şi localizarea defectului, aceasta fiind zona în care se va aplica LASER grid sau direct pe microanevrism. Prin tratarea zonei de leakage, se reduce edemul macular şi scade îngroşarea acesteia. Tratamentul focal macular poate stabiliza vederea; după *National Eye Institute* (NEI) scade riscul de pierdere a vederii cu 50%. Există însa şi multe situaţii în care aplicarea laserului grid macular, nu aduce beneficii asupra vederii.
    - **Tratamentul LASER segmentar** – în caz de ocluzie a unui ram al VCR, dar cu implicaţii serioase a unei părţi mari de retina, se impune LASER pe întreaga zonă ischemică.
    - **Panfotocoagularea** LASER poate fi, de asemenea, utilizată în cazurile cu risc creecut de hemoragii secundare vitreene şi de glaucom secundar neovascular.
- Din punct de vedere clinic există două forme de OVCR: forme ischemice şi non-ischemice,
  - **Forma ischemică** de OVCR este mai frecventă ajungând la 60–70% din cazuri şi este cea care se asociază cu o **mai mare frecvenţă a neovascularizaţiei oculare**, şi evoluţie defavorabilă. Complicaţiile neovascularizaţiei, incluzând glaucom neovascular şi hemoragii vitreene pot cauza leziuni ireversibile asupra funcţiei vizuale până la cecitate. Tratamentul pentru forma ischemică include medicaţie anti-VEGF (*vascular endothelial growth factor*), medicaţie steroidă, anticoagulante, şi tratament laser la apariţia neovaselor pentru prevenirea complicaţiilor.
    - Studii randomizate luând în considerare forma ischemică de OVCR, au relevat faptul că riscul de neovascularizaţie la nivelul segmentului anterior a scăzut considerabil după PFC laser profilactică, însă nu a fost eliminat.
    - După PFC in OVCR, NV au regresat în 90% din cazuri la un an de la accidental vascular, şi riscul de GNV a scăzut sub 1%.
    - **Riscul de hemoragii vitreene şi de apariţie a neovaselor iriene descreşte după PFC.** De aceea, există autori care consideră PFC a fi

Scanned with OKEN Scanner

tratamentul recomandat pentru a preveni NV ocular, şi în particular GNV la pacienţii cu OVCR. Există şi studii randomizate care nu relevă beneficii după PFC profilactică

- În ceea ce priveşte edemul macular, cu toate că edemul macular este rezultatul ocluziei de venă central, studiile arată că fotocoagularea LASER la pacienţii cu vârsta peste 65–70 ani, nu aduce beneficii asupra funcţiei vizuale. La pacienţii cu vârsta sub 65 de ani, fotocoagularea grid perimaculară poate fi benefică [12].

- Momentul intervenţiei LASER trebuie ales cu grijă, nu foarte târziu pentru a nu apare complicaţii, însă nici în perioada imediat următoare accidentului vascular retinian.
  - **Fotocoagularea unei retine edematoase este foarte dificilă şi de multe ori ineficientă** datorită marii conductibilităţi termice a lichidelor, ceea ce impune creşterea nivelului energiei aplicate. Pentru lungimi de undă cuprinse între 400 şi 900 nm, energia este foarte puţin absorbită de mediile transparente. Totuşi cristalinul în cazul modificărilor determinate de senescenţă poate să absoarbă o cantitate mai mare de energie LASER, constituind un obstacol în fotocoagularea retiniană. La fel şi în cazul sângelui în vitros în când hemoglobina absoarbe o parte din lungimea de undă a laserului. În aceste situaţii este necesară creşterea puterii undei LASER.
  - Experienţa arată că **la intensităţi obişnuite, capilarele nu sunt direct atinse de radiaţiile LASER**. Un vas poate fi distrus direct de raza LASER în măsura în care este capabil de a absorbi energia razei laser, ori având în vedere dimensiunea redusă a neovaselor, cu existenţa la nivelul lumenului a unui număr redus de hematii, energia absorbită nu este suficientă pentru a produce distrugerea vasului. O altă metodă de destrucţie este prin degajarea căldurii de către epiteliul pigmentar (care absoarbe raza LASER) şi fiind atinse indirect neovasele sau capilarele.

- După tratamentul laser este posibilă o înceţoşare a vederii care poate dura mai multe ore sau zile;
- Ţinând cont de numeroasele complicaţii şi de severitatea acestora, pacientul va fi examinat săptămânal timp de o lună, apoi bilunar şi ulterior o data pe lună.

TRATAMENTUL LASER ÎN RETINOPATIA DE PREMATURITATE

Conform AAO, există 5 stadii de retinopatie de prematuritate:

Gradul 1 – prezenţa unei linii de demarcaţie plate între retina vascularizată şi nevascularizată;

Gradul 2– prezenţa unei zone de demarcaţie înaltă între retina vascularizată şi avasculară;

Gradul 3 – prezenţa proliferării fibroblastice şi apariţia vaselor de neoformaţie extraretiniene

Scanned with OKEN Scanner

Gradul 4 – decolare subtotală de retină; decolare extrafoveolară
Gradul 5 – decolare totală de retină.

- Din stadiul 3 de retinopatie, vasele de neoformaţie realizează şunturi vasculare între sectorul arterial şi venos. Cu cât sunt mai periferice şi cu cât dimensiunile sunt mai mici, regresia spontană cu tendinţă minimă de a lăsa cicatrici retiniene este mai evidentă. În stadiul proliferativ, vasele de neoformaţie se detaşează din vasele retiniene posterior de zona şuntului arterio-venos. Aceste vase prezintă diferenţe foarte mari în ceea ce priveşte mărimea; ele aderă la hialoida posterioară putând induce contractura zonei vitreene adiacente. Contractura gelului vitreean creează un câmp de forţe care duce la decolare parţială a retinei prin tracţiune şi care se manifestă din stadiul 4 de boală. În stadiul 5 decolarea de retină este totală.
- În funcţie de localizare, vasele de neoformaţie pot fi situate în: zona I – retina polului posterior, într-o zonă limitată la 60° centrată pe discul optic; zona II – de la nivelul zonei I în sectorul nazal periferic (anterior); zona III – retina periferică temporală.
- În evoluţie, se constată la majoritatea copiilor, **o tendinţă spontană de regresie al neovaselor, care se manifestă în aproximativ 85% din ochi.** Aproximativ 7% din copiii cu greutate la naştere mai mică de 1251 g dezvoltă un anumit grad de retinopatie de prematuritate.
- În acei ochi în care se manifestă progresia leziunilor, vor apare totodată şi mecanisme compensatorii de autolimitare a neovascularizaţiei, ducând la o tranziţie treptată de la forme active la stadii cicatriciale de retinopatie de prematuritate [13]. În aceşti ochi complicaţiile sunt numeroase, asociindu-se diferite grade de fibroză, cu contractura ţesutului proliferativ, tracţiuni vitreoretiniene, tracţiuni cu torsiuni maculare şi/sau decolare de retină. Intervalul optim pentru excluderea retinopatiei de prematuritate este între 6–8 săptămâni de la naştere.

TRATAMENTUL LASER ÎN DREPANOCITOZĂ

- În drepanocitoză, vasoocluziile periferice iniţiază o serie de secvenţe patologice, care se finalizează prin apariţia vaselor de neoformaţie caracteristice, foarte arborizate şi anastomozate, provenind de la o arteriolă de alimentare de calibru mai mare (*vas feeder*).
- Evoluţia leziunilor microvasculare se face în două stadii:
  - stadiul neproliferativ (*background*), caracterizat prin apariţia de mici hematoame intraretiniene; microcavităţile schizice, pete pigmentare (*black sunburst*).
  - stadiul proliferativ – caracterizat de modificări etapizate în următoare secvenţă (AAO): ocluzii ale arteriolelor periferice (stadiul 1), anastomoze

Scanned with OKEN Scanner

arteriovenoase periferice (stadiul 2), vase de neoformație (stadiul 3), hemoragii vitreene (stadiul 4), decolare de retină (stadiul 5).

- Din punct de vedere histologic, sunt caracteristice anastomozele periferice arterio-venoase, cu rol de a crea șunturi vasculare între arteriolele ocluzate și vasele vecine și buclele vasculare intraretiniene, cu aspect de agrafă, cu rol de a recanaliza sângele din porțiunea vasului ocluzat, într-o zonă adiacentă. Elementul patognomonic caracteristic acestui stadiu este reprezentat de apariția neovascularizației retiniene periferice. Caracteristic pentru vasele de neoformație și pentru celelalte leziuni neoformative din retinopatia drepanocitară este **evoluția spontană a acestora către autoinfarctizare**, aspect foarte puțin evidențiat în alte tipuri de retinopatii, astfel încât **tratamentul LASER este mult mai puțin indicat [14].**

TRATAMENTUL LASER ÎN MALADIA COATS

- Afecțiunea debutează prin apariția de telangiectazii în zonele retiniene periferice, afectând cu precădere cadranele temporale superioare și inferioare, microanevrisme fusiforme, vene dilatate, cu aspect de mărgele sau bucle vasculare, polul posterior fiind respectat. În stadii mai avansate, datorită ruperii barierei hematooculare, permeabilitatea vasculară se modifică, cu apariția edemului retinian și a exsudatelor lipidice intra și subretiniene, care tind să se extindă și la nivelul polului posterior; ele se prezintă sub forma unor placarde proeminente galben cenușii, cu contur neregulat și margini difuze. În stadiul final apare decolare totală de retină exsudativă, cu suprafață netedă, mobilă, fără rupturi. Zona centrală este afectată prin exsudate lipidice subfoveolare, care prin resorbție lasă cicatrici fibrovasculare maculare. **Caracteristicile maladiei Coats sunt telangiectaziile fusiforme și exsudația subretiniană masivă, cu apariția de noi leziuni la periferia retinei, cu hemoragii, exsudate și vase de neoformație retiniană și coroidiană.**
- Coats deosebea trei tipuri diferite ale acestei afecțiuni:
  - tipul I, fără modificări vasculare sau hemoragice coroidiene, cu infiltrat mononuclear, pledând pentru o etiologie infecțioasă;
  - tipul II, cu multiple anomalii ale vaselor retinocoroidiene și hemoragii frecvente, fără leziuni coroidiene inflamatorii active sau sechelare;
  - tipul III cu angioame sau anevrisme arterio-venoase. Ulterior tipul III din clasificarea lui Coats a fost identificat cu maladia von Hippel-Lindau, iar în prezent există o cvasiunanimitate a părerilor conform cărora maladia Coats însăși nu este decât un stadiu evolutiv al microangiomatozei Leber sau von Hippel-Lindau.

Scanned with OKEN Scanner

- Modificările histopatologice la nivelul peretelui vascular justifică apariţia şi evoluţia modificărilor clinice. Se pot nota:
  - dezorganizarea peretelui vascular, cu pierderea generalizată a celulelor endoteliale şi a pericitelor;
  - fenestraţii ale capilarelor retiniene cu alterarea permeabilităţii barierei hematoretiniene;
  - îngroşarea membranei bazale prin depunerea de material PAS+;
  - exsudat intra- şi subretinian format din cristale de colesterol, macrofage, leucocite degenerate, histiocite, hemosiderină;
  - proliferarea exuberantă a epiteliului pigmentar şi metaplazia lui, cu formarea nodulilor de fibroză submaculară prezenţi în mai mult de 50% din cazuri;
  - fibroză subretiniană;
  - glioză în regiunile non-telangiectatice.

- Din punct de vedere fiziopatologic, afectarea interesează cu precădere capilarele, şi mai puţin arterele şi venele. Pierderea pericitelor şi a unei părţi din celulele endoteliale, duce la dezorganizarea peretelui cu apariţia telangiectaziilor.
- Pierderea celulelor endoteliale şi dispariţia joncţiunilor tight, determină fenestraţii capilare, alterarea permeabilităţii barierei hematoretiniene cu apariţia fenomenului de „*leakage*" şi exsudaţie, cu trecerea componentelor din sânge în stratul subretinian şi în straturile externe ale retinei. Hipoxia poate avea ca efect apariţia neovascularizaţiei retiniene şi coroidiene, şunturi arterio-venoase şi retinopatie proliferativă.
- **Tratamentul are ca obiectiv obliterarea vaselor retiniene afectate, oprirea fenomenului de „*leakage*", resorbţia exsudatelor, reataşarea retinei.** Laserfoto-coagularea cu lampă cu fantă se foloseşte în telangiectazii mici, localizate la nivelul polului posterior. LASERUL Argon-blue-green, laserul Argon green şi dye laserul dau rezultate relativ bune [15].

BIBLIOGRAFIE

1. Kent D, Sheridan C. Choroidal neovascularization: a wound healing perspective. Mol Vis. 2003;9:747–55.
2. Jepson CN, Wetzig PC. Photocoagulation in disciform macular degeneration. Am J Ophthalmol 1969;67(6):920–930. Epub 1969/06/01. PubMed PMID: 5785852.
3. Recurrent choroidal neovascularization after argon laser photocoagulation for neovascular maculopathy. Macular Photocoagulation Study Group. Arch Ophthalmol 1986;104(4):503–512. Epub 1986/04/01. PubMed PMID: 2420315.
4. Argon laser photocoagulation for senile macular degeneration. Results of a randomized clinical trial. Arch Ophthalmol 1982;100(6):912–918. Epub 1982/06/01. PubMed PMID: 7046707.
5. Chhablani J, Roh YJ, Jobling AI, Fletcher EL, Lek JJ, Bansal P, *et al.* Restorative retinal laser therapy: present state and future directions. Surv Ophthalmol. 2017.
6. Guymer RH, Brassington KH, Dimitrov P, Makeyeva G, Plunkett M, Xia W, *et al.* Nanosecond-laser application in intermediate AMD: 12-month results of fundus appearance and macular function. Clin Exp Ophthalmol 2014;42(5):466–479.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 16

FOTOCOAGULAREA LASER ÎN TROMBOZELE VENOASE RETINIENE

SIMONA DELIA NICOARĂ

- Trombozele venoase retiniene sunt cele mai frecvente boli vasculare ale retinei, după retinopatia diabetică. În funcție de sediul trombozei venoase, aceasta poate fi: de venă centrală a retinei (VCR), hemisferică (hemicentrală) sau de ram venos retinian.

Indicații

- **Tratamentul LASER este indicat atât în formele ischemice de ocluzie venoasă retiniană, în care are un rol terapeutic esențial, cât și în formele edematoase, cu rezultate discutabile.**
- Răspunsul post-LASER depinde de teren (vârsta, cauza obstrucției), precum și de extensia și gradul obstrucției: sediul față de lamina cribrosa și posibilitățile anatomice de dezvoltare a anastomozelor optico-ciliare [1].

Fotocoagularea LASER în ocluziile de VCR [1,3]

- **În formele *ischemice* de obstrucție de VCR,** trebuie efectuată **panfotocoagularea laser intensă și precoce, fără a se aștepta apariția neovaselor.**
  - Până la apariția neovaselor, există semne clinice obiective care demonstrează existența ischemiei retiniene: nodulii disorici, hemoragiile retiniene profunde sau confluente, iar, pe angiofluorografie (AFG), ariile de non-perfuzie capilară.
- **Panfotocoagularea retiniană** trebuie efectuată, în formele ischemice de obstrucție de VCR, **în primele 90 zile de la debut, acesta fiind intervalul tipic de inițiere a rubeozei iriene.**
  - Dacă glaucomul neovascular s-a instalat deja, panfotocoagularea LASER trebuie precedată de injecții intravitreene cu anti-VEGF.
- **În formele *mixte*,** trebuie efectuat **tratamentul LASER precoce al ariilor de non-perfuzie retiniană, înainte de apariția neovaselor epiretiniene sau epipapilare. Urmărirea AFG este importantă.**

Scanned with OKEN Scanner

Tehnica fotocoagulării LASER convenţionale

- Dacă sunt prezente multe hemoragii, se preferă lungimea de undă roşie, un spot mai mic sau egal cu 500 microni, durata de 0,2–0,5 s. impactele trebuie să fie confluente, urmărindu-se albirea netă a retinei.
- deoarece lungimea de undă majoritar utilizată în practica clinică pentru fotocoagularea laser a retinei este cea verde, se aşteaptă dispariţia hemoragiilor retiniene, astfel încât absorbţia energiei laser să fie eficientă.

- Observaţiile clinice au demonstrat că de obicei este suficient un tratament mai puţin agresiv decât în retinopatia diabetică proliferativă (RDP): după aplicarea a 1000–2000 impacte LASER, neovasele încep să regreseze
  - **majoritatea autorilor recomandă o panfotocoagulare care să cuprindă 3000–4000 impacte LASER, de preferinţă repartizate în 3–4 şedinţe, ca în RDP.**
- Deoarece atât vederea centrală, cât şi cea periferică sunt compromise definitiv în obstrucţiile de VCR, nu trebuie să ne preocupe atât de mult efectele secundare distructive retiniene legate de dimensiunea impactelor şi caracterul lor confluent.
- **Scopul tratamentului LASER în obstrucţiile de VCR este reprezentat exclusiv de prevenirea complicaţiilor redutabile, invalidante, ale acestei boli: rubeoza iriană, glaucomul neovascular [1].**

Rezultate

- Tratamentul LASER în obstrucţia de VCR conduce rareori la ameliorarea vederii.
  - în formele ischemice, panfotocoagularea LASER corect efectuată determină regresia neovaselor în aproape toate cazurile
  - câmpul vizual poate prezenta îngustări, după un tratament laser agresiv, dar, de cele mai multe ori, el este deja îngustat, înainte de fotocoagularea LASER
  - Glaucomul neovascular şi rubeoza iriană înregistrează o ameliorare marcată după panfotocoagularea LASER.

Fotocoagularea LASER în edemele maculare din ocluzia de VCR

- Înainte de era injecţiilor intravitreene cu anti-VEGF, fotocoagularea laser macular era singura modalitate de tratament în edemele maculare apărute pe fondul ocluziilor de VCR.
- Efectele benefice ale gridului macular efectuat pentru tratarea edemului macular din ocluzia de VCR a fost demonstrat de mai multe studii clinice.
  - În formele edematoase de ocluzie a VCR nu există criterii absolute pentru indicarea fotocoagulării LASER. În general, se aşteaptă 3 luni [1]
    - Dacă edemul tinde să diminueze, nu se indică tratamentul LASER
    - Dacă edemul este staţionar sau s-a accentuat faţă de examinarea iniţială, atunci se indică fotocoagularea LASER.

Scanned with OKEN Scanner

- Evaluarea AFG a reţelei capilare perifoveale este importantă.
  - Dacă se evidenţiază o ischemie extinsă a polului posterior, fotocoagularea LASER este contraindicată.
  - Dacă este prezent edemul macular cistoid, se indică grila maculară, dar efectuată cu atenţie, pentru a nu altera circulaţia de supleere perimaculară [1,2].

Grila maculară

- Pentru tratamentul în grilă maculară, se alege, în mod curent, lungimea de undă roşie sau verde, spotul de 100 microni, durata de 0,1–0,2 s şi se aplică 100–150 impacte de intensitate moderată, la nivelul ariilor de edem identificate pe angiofluorografie.
- Impactele trebuie separate prin spaţii de cel puţin 100 microni şi nu trebuie să intereseze aria foveală avasculară.
- Dacă edemul macular persistă, tratamentul poate fi repetat după 3–4 luni [3].

Tratarea arteriolei aferente

- Tratamentul arteriolelor care irigă teritoriul edematos acționează indirect.
  - Acestea sunt fotocoagulate cu spotul de 200–300 microni şi durata de 0,5–1 s.
  - Principiul care stă la baza acestui tratament este acela că spasmul vascular obţinut va diminua congestia retiniană.
  - Tratamentul trebuie să intereseze arteriola pe un traiect lung.
  - Dacă nu se obţine niciun rezultat, tratamentul trebuie repetat după 1–2 luni.
  - Unii autori nu sunt convinşi de utilitatea acestui tratament.

Rezultate

- În formele edematoase ale ocluziilor VCR
  - rezultatul fotocoagulării LASER convenționale este aproape întotdeauna negativ, dar s-au observat şi ameliorări ale edemului macular postterapie LASER. Rezultatele funcţionale sunt variabile.
  - Injecţiile intravitreene cu anti-VEGF şi steroizi au ameliorat semnificativ prognosticul anatomic şi funcţional în aceste situaţii şi aproape au eliminat fotocoagularea LASER din arsenalul terapeutic.
  - În ultimii ani, au apărut tehnologii LASER noi care permit tratarea mai sigură şi eficientă a edemelor maculare: fotocoagularea multispot, subprag, cu laser diodă, utilizarea LASERULUI cu emisie galbenă. Acestea sunt explicate la finalul capitolului.

Scanned with OKEN Scanner

Fotocoagularea LASER în ocluziile de ram al VCR

- Ocluzia de ram al VCR este mai frecventă decât cea de venă centrală a retinei şi are un prognostic vizual mai benign. **După retinopatia diabetică, ocluzia de ram al VCR este a doua cauză de scădere gravă a vederii şi de cecitate de origine vasculară [1].**
- **Trombozele de ram venos retinian** au un risc global de apariţie a **neovascularizaţiei de 20%.**
  - Dacă în urma trombozei de ram venos retinian se dezvoltă o arie de ischemie retiniană mai mare sau egală cu 5 diametre papilare, riscul de apariţie a neovaselor creşte la 40% în următoarele 6–12 luni.
- Hemoragiile în vitros apar la 60% dintre aceşti pacienţi.
  - **Tromboza de ram venos retinian este cea mai frecventă cauză de hemoragie în vitros de origine „necunoscută", deoarece uneori trece neobservată, în localizările periferice.**
- Având în vedere faptul că **60% dintre pacienţii cu tromboză de ram venos retinian nu dezvoltă vase de neoformaţie,** atitudinea recomandată de Branch Retinal Vein Occlusion Study Group este aceea de **menţinere sub observaţie a pacienţilor şi de efectuare a tratamentului LASER doar la apariţia neovaselor.**
  - Dacă aria de ischemie retiniană este mai mare de 5 diametre papilare, aşteptăm resorbţia hemoragiilor, identificăm pe AFG ariile de non-perfuzie retiniană şi o repetăm la fiecare 4 luni.
  - Dacă se dezvoltă neovase, se efectuează fotocoagularea LASER a zonelor ischemice.
  - Fotocoagularea LASER nu este indicată dacă sunt prezente hemoragii retiniene difuze.

Indicaţii

- **În formele ischemice se tratează ariile de non-perfuzie înainte de apariţia neovaselor.**
- **Dacă neovasele au apărut deja, fotocoagularea LASER constituie o urgenţă.**
- **Fotocoagularea este indicată pentru obstrucţia de ram venos retinian, în prezenţa ischemiei retiniene semnificative.**
  - Indicatorii obiectivi ai ischemiei retiniene sunt: nodulii disorici, hemoragiile retiniene profunde sau confluente, iar, pe AFG, ariile de nonperfuzie capilară.
- Alegerea momentului terapeutic în obstrucţia de ram venos retinian este condiţionată de evoluţia clinică.
- Ocluzia venoasă de ram este tratată prin fotocoagularea LASER a sectorului afectat [1,2].

Tehnica fotocoagulării LASER în ocluzia de ram venos retinian

- În formele ischemice de obstrucţie de ram venos retinian, se efectuează fotocoagularea sectorului retinian afectat, cu aceiaşi parametrii care au fost prezentaţi la panfotocoagularea retiniană din ocluzia de VCR.

Scanned with OKEN Scanner

Rezultate

- Efectele benefice ale fotocoagulării LASER în tratamentul neovascularizaţiei care complică obstrucţia de ram venos retinian au fost stabilite foarte clar.
  - Toate studiile clinice au demonstrat că regresia neovascularizaţiei începe, de obicei, la câteva săptămâni după tratamentul LASER şi că nu există recidive.

Fotocoagularea LASER convenţională în edemele maculare din ocluziile de ram al VCR

- În formele edematoase ale ocluziilor de ram al VCR, se indică efectuarea unei grile maculare prudente, dacă după 2–3 luni de la debut, acuitatea vizuală a scăzut sub 5/10. Dacă acuitatea vizuală este mai mică sau egală cu 5/10, se aşteaptă resorbţia hemoragiilor, pentru o mai bună vizualizare a fundului de ochi. Se efectuează apoi AFG, pentru a preciza starea maculei:
  - Dacă acuitatea vizuală este scăzută din cauza edemului macular şi nu se ameliorează, trebuie efectuată grila maculară.
  - Dacă scăderea acuităţii vizuale este datorată non-perfuziei, nu există tratament care să amelioreze funcţia vizuală [1].
- **În formele edematoase de obstrucţie de ram venos retinian, se tratează ariile de *leakage* identificate AFG.**
  - Pentru tratament, se preferă o lungimea de undă verde sau roşie, se utilizează impacte de 100 microni, de intensitate slabă şi durata de cel puţin 100 ms.
  - Se recomandă tratarea directă a microanevrismelor şi a capilarelor hiperpermeabile situate în afara zonei avasculare centrale.
  - Vasele colaterale trebuie evitate.
  - Tratamentul asupra hemoragiilor retiniene trebuie evitat, pentru a preveni absorbţia excesivă de energie.
- Lungimea de undă galbenă a laserului cu coloranţi (577 nm) este benefică în tratarea anomaliilor vasculare adiacente zonei avasculare.
- Utilizarea lungimii de undă roşii a laserului cu krypton (630 nm) este avantajoasă în tratarea pacienţilor cu hemoragii retiniene confluente care persistă mai mult de 4 luni, cataractă şi opacităţi vitreene [1].
- Pacienţii trataţi pentru edem macular trebuie reevaluaţi la intervale de câte două luni şi luaţi în considerare pentru repetarea tratamentului, dacă acesta persistă la 4 luni de la tratament.

Rezultate

- Grupul pentru studiul ocluziei de ram al VCR a demonstrat efectele benefice ale gridului macular la pacienţii cu edem macular persistent după obstrucţie de ram venos retinian, cu vederi mai mici sau egale cu 20 /40: 63% dintre pacienţii trataţi LASER au câştigat două sau mai multe rânduri la acuitatea vizuală, spre deosebire de 36%, dintre cei netrataţi.

Scanned with OKEN Scanner

Tehnologii LASER noi în tratarea edemului macular din ocluziile venoase retiniene [3,4]

- Pentru a elimina efectele distructive asociate cu utilizarea tehnologiei LASER convenționale și pentru a crește eficiența tratamentului LASER, au fost imaginate metode și tehnologii noi: fotocoagularea micropulsată, sub-prag, cu laser diodă; LASERUL cu emisie galbenă.

Fotocoagularea micropulsată, sub-prag, cu LASER diodă

- În cazul utilizării undei LASER continue (CW) (standard), energia LASER este eliberată constant, fapt care conduce la creșterea semnificativă a temperaturii în țesutul retinian [3].
  - Pentru a elimina acest neajuns, a fost elaborat modul micro-puls care constă în fragmentarea razei LASER eliberate în modul continuu, în pachete repetitive de pulsuri scurte, permițând, astfel, răcirea țesutului între pulsuri. Ideală este eliberarea standardizată multispot.
- Metoda funcționează pe baza următorului principiu: se aplică impacte LASER micropulsate, de slabă intensitate, care, în timp ce sunt absorbite selectiv de epiteliul pigmentar retinian (EPR), nu determină niciun fel de leziune detectabilă.
  - Ca urmare, tratamentul nu țintește focal microanevrismele hiperpermeabile, ca în LASERUL convențional.
  - Prin aplicarea spoturilor cu densitate mare (confluent, contiguu), efectele tratamentului sunt amplificate.
  - Consecința este normalizarea funcției EPR.
  - Nu au fost identificate efecte distructive secundare, ceea ce face ca tratamentul să poată fi repetat indefinit, iar eficacitatea este superioară tehnicii LASER convenționale.
- **Tehnica micropulsată, sub-prag cu LASER diodă și-a demonstrat eficiența în edemul macular din ocluziile venoase retiniene.**

LASERUL cu emisia galbenă

- Efectele clinice ale fotocoagulării LASER a retinei sunt rezultatul interacțiunii dintre emisia LASER și cromoforii retinieni: melanina, hemoglobina și pigmentul xantofil.
- Din particularitățile de distribuire a cromoforilor oculari și de absorbție a diferitelor lungimi de undă ale radiației LASER rezultă avantajele utilizării luminii LASER galbene: are absorbție maximă la nivelul hemoglobinei și nu este absorbită deloc de pigmentul xantofil, reducând la zero riscul lezării LASER accidentale a regiunii maculare. Aceste avantaje se validează în toate fotocoagulările LASER retiniene, dar îndeosebi în cele maculare.
  - Astfel, radiația galbenă este mai puțină dispersată și absorbită prin mediile oculare și ca urmare
    - eficiența sa este crescută
    - riscul leziunilor retiniene accidentale este scăzut

Scanned with OKEN Scanner

- crește confortul pacienților
- leziunile vasculare pot fi tratate direct
- este posibil tratamentul aproape de maculă, precum și al țesutului fibro-vascular activ, printr-o lamă fină de hemoragie.

BIBLIOGRAFIE

1. Nicoară SD, Tratamentul LASER în bolile oculare, în „Tratamentul chirurgical și tratamentul LASER În boli oculare", (sub red. Marieta Dumitrache), Ed. Universitară „Carol Davila", ISBN 978-973-708-741-6, pg. 419–486, 2014.
2. Peyman G.A., Raichand M., Zeimer R.C., Ocular effects of various LASER wavelengths, Surv. Ophthalmol., 28(5), 1984, pg. 391–402.
3. Kozak I, JK Luttrull, Modern retinal LASER therapy, Saudi Journal of Ophthalmology, 2015; 29 (2): 137–46.
4. Agrawal KK, Gentile RC, Evolution of Retinal LASER Photocoagulation: Pattern, Navigated, and Micropulse – Matching modality to pathology, Retinal Physician, 2015; 12 (4): 22–27.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 17

FOTOCOAGULAREA LASER ÎN RETINOPATIA DE PREMATURITATE

SIMONA DELIA NICOARĂ

- Retinopatia de prematuritate (ROP) reprezintă o gravă ameninţare pentru vederea prematurilor, îndeosebi a celor născuţi la vârstă postconcepţională (VPC) mică şi cu greutate la naştere (GN) redusă.
- Progresele din medicina neonatală au generat creşterea prevalenţei ROP în ţările în curs de dezvoltare, justificând identificarea de către organizaţia mondială a sănătăţii (OMS), **a ROP, ca şi cauză majoră de pierdere a vederii la copii.** În timp ce în ţările dezvoltate, ROP este responsabilă de 4% din cazurile de orbire la copii, în cele în curs de dezvoltare, ROP este la originea a 40% dintre ele.
- Mulţi prematuri dezvoltă ROP în diferite stadii:
  - majoritatea regresează spontan, fără tratament
  - o proporţie mică de cazuri dezvoltă ROP care poate determina pierderea vederii dacă nu este tratată prompt
  - **pierderea vederii în ROP poate fi prevenită**
  - tratamentul disponibil la ora actuală poate reduce semnificativ rata evoluţiilor nefavorabile
  - **detectarea precoce a ROP şi tratamentul prompt sunt cruciale pentru prevenirea orbirii**
- **Metodele de tratare a ROP sunt:**
  - **fotocoagularea LASER indirectă a retinei nevascularizate**
  - **injecţiile intravitreene cu anti-VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*).**

Fiziopatologia ROP

- În primele 4 luni de gestaţie, retina nu are vase de sânge şi este hrănită de vascularizaţia hialoidiană.
- La 16 săptămâni de gestaţie, angioblaştii din proximitatea arterei hialoide invadează stratul fibrelor nervoase şi primele vase retiniene apar la nivelul capului nervului optic.

Scanned with OKEN Scanner

  - ele cresc progresiv spre periferie, ajungând la ora serrata la 36 săptămâni, în sectorul nazal şi la 40 săptămâni, în sectorul temporal.
- Dezvoltarea straturilor superficial şi profund al vascularizaţiei retiniene depinde de echilibrul delicat dintre factorii de creştere secretaţi de astrocite şi microglie: VEGF şi factorul 1 de creştere al insulinei (IGF-1).
- În timpul celei de a doua jumătăţi a gestaţiei, există o hipoxie intrauterină relativă. **Când survine naşterea prematură, vasele retiniene nu sunt dezvoltate complet.**
- **Afectarea concentraţiei de oxigen este un factor de risc pentru dezvoltarea ROP** care este o boală bifazică.
  - prima fază (de la momentul naşterii până la VPC 31–32 săptămâni) este caracterizată de hiperoxie relativă de mediu care conduce la oprirea dezvoltării retiniene normale.
  - în timpul celei de a doua faze (de la VPC 32–36 săptămâni) retina se maturizeaază şi necesităţile sale metabolice cresc. În consecinţă, este caracterizată de hipoxie relativă şi super expresia VEGF, IGF-1 şi leziuni oxidative cu creşterea consecutivă a vaselor de neoformaţie şi dezlipire de retină.
- Asocierea dintre ROP şi administrarea unor doze crescute de oxigen a fost demonstrată pentru prima dată de Patz şi colaboratorii în 1953.

Clasificarea ROP

- ROP a fost clasificată pentru prima dată în 1984 de către un grup internaţional de experţi şi actualizată în 2005.
  - **În clasificarea ROP se utilizează trei criterii:**
    - **zona**
    - **stadiul**
    - **prezenţa/absenţa bolii „plus”**
- Topografic, retina este împărţită în trei zone.
  - *Zona 1* corespunde unui cerc centrat pe discul optic, având raza egală cu dublul distanţei dintre discul optic şi fovee
  - *Zona 2* corespunde unui cerc centrat pe discul optic, cu raza egală cu distanţa dintre discul optic şi ora serrata nazală
  - *Zona 3* corespunde semilunei de retină temporală rămasă până la ora serrata.
- Stadiile descriu modificările retiniene la limita dintre retina vascularizată şi cea nevascularizată
  - stadiul 1 – este definit prin linia de demarcaţie
  - stadiul 2 – creastă albă, nevascularizată
  - stadiul 3 – creastă roşie, vascularizată
  - stadiul 4
    - 4a corespunde dezlipirii de retină periferice
    - stadiul 4b implică şi detaşarea foveei

Scanned with OKEN Scanner

  - stadiul 5 – reprezintă dezlipirea totală a retinei, în „pâlnie" deschisă sau închisă.
- Boala „plus" se referă la dilatarea și neregularitatea arterelor și venelor retiniene la nivelul polului posterior, comparativ cu o fotografie standard.
- ROP agresivă posterioară (APROP) este un subtip de ROP cu un comportament foarte imprevizibil și agresiv. Este localizată întotdeauna posterior (zona 1 și zona 2 posterioară), cu boală „plus" foarte severă și cu neovascularizație plată care progresează rapid, fără a trece prin stadiile descrise anterior.
- *Early Treatment for ROP study* (ETROP) a reclasificat ROP în funcție de atitudinea pe care o reclamă:
  - tipul 1 – ROP care necesită tratament
  - tipul 2 – ROP care necesită monitorizare atentă.

Diagnosticul și screeningul ROP

Se estimează că mai puțin de 10% din cazurile de ROP necesită tratament la nivel mondial. Peste 90% regresează spontan.

- Criteriile de screening variază în diferite țări/regiuni.
  - în SUA, criteriile de screening actualizate în anul 2013 includ toți nou-născuții cu GN ≤ 1,500 g sau cu VG ≤ 30 săptămâni.
    - nou-născuții mai grei sau mai maturi sunt incluși în screening la indicația neontaologului, mai ales în prezența altor complicații: enterocolita necrozantă, hemoragia intraventriculară, sepsis, displazia bronhopulmonară.
  - Conform ghidului nostru național, toți nou-născuții cu VG ≤ 34 săptămâni sau cu GN ≤ 2000 g sunt incluși în screeningul pentru ROP.
    - prima examinare ar trebui efectuată la 4–6 săptămâni de la naștere sau la VPC de 3 săptămâni, oricare ar fi mai târziu
    - la examinarea unui prematur, una din trei situații poate fi identificată: retina matură, vascularizație retiniană imatură sau ROP
    - screeningul ROP poate fi întrerupt dacă: vascularizația retiniană a ajuns în zona 3, fără să fi fost prezentă boala în zona 1 sau 2; nu există nicio dovadă a bolii pre-prag sau a înrăutățirii ROP până la VPC de 50 săptămâni; există ROP în regresie în zona 3 fără țesut vascular anormal care se poate reactiva în zona 2 sau 3.
- **Screeningul ROP trebuie efectuat de oftalmologi antrenați, utilizând oftalmoscopia indirectă și indentația scleral, pentu a avea acces la retina periferică.** Pupilele trebuie dilatate cu un amestec de tropicamidă 0,5% și fenilefrin 2,5% și pleoapele sunt menținute deschise cu un blefarostat pe tot parcursul examinării.

Prevenție și factori de risc

- Factorul profilactic cel mai important al ROP este prevenirea nașterilor premature.

Scanned with OKEN Scanner

- Studiul multicentric STOP-ROP a evaluat riscul pentru dezvoltarea ROP pre-prag în corelație cu saturația oxigenului și a arătat că nu există diferențe între menținerea unui nivel al saturației de oxigen de 96–99%, față de 89–94%.
- Studiul BOOST II a arătat o rată mai mare de supraviețuire la nou-născuții prematur cu VG sub 28 săptămâni cu nivele ale saturației de oxigen de 91–95%, dar cu un risc crescut pentru ROP în alte studii.

Tratamentul ROP

- Înaintea anului 1980, singurul tratament pentru ROP era chirurgia vitreo-retiniană pentru dezlipire de retină în stadiile avansate ale bolii
  - în jurul acelei perioade, a început să fie utilizată crioterapia cu scopul de a scoate din funcție retina periferică și astfel de a întrerupe lanțul patogenic în ROP, dar nu existau indicații în corelație cu severitatea bolii.

Tratamentul LASER în ROP

- **Tratamentul LASER este justificat în ROP prin aceea că distruge retina nevascularizată cu scopul de a îndepărta sursa factorilor angiogenici, întrerupând, astfel, mecanismul patogenic al proliferării neovasculare și al dezlipirii de retină secundare** [7].
  - Acest deziderat a fost obținut pentru prima dată în anul 1988 prin crioterapie care și-a dovedit eficiența în prevenirea orbirii cauzate de ROP.
  - În anul 1994, grupul pentru studierea LASERULUI în ROP a demonstrat că fotocoagularea LASER a retinei este la fel de eficientă ca și crioterapia în ROP și are avantajul de a cauza efecte secundare mai puțin severe
    - terapia LASER este mai eficientă decât crioterapia în tratarea zonei 2 posterioare și a zonei 1 și cauzează mai puțină manipulare și traumă asupra ochiului.

Indicațiile fotocoagulării LASER în ROPm [1,3]

- CRYO-ROP a elaborat clasificarea ROP și a definit boala „prag" în care este indicat tratamentul: **ROP stadiul 3 în zona 1 sau 2, cu boala „plus", pe 5 ore de ceas contigue sau pe 8 ore de ceas necontigue.**
- Un studiu ulterior, ETROP, a investigat dacă tratamentul efectuat mai precoce decât în stadiul prag ar reduce rata evoluțiilor anatomice nefavorabile.
  - boala pre-prag a fost definită ca ROP tip 1 și tip 2
  - clinic, ROP tip 1 include următoarele categorii:
    - ROP în orice stadiu în zona 1, cu plus;
    - ROP stadiul 3 , zona 1, fără plus
    - ROP stadiul 2 sau 3, zona 2, cu plus.
  - **ETROP recomandă tratamentul în ROP tip 1 și monitorizarea în ROP tip 2.**

Scanned with OKEN Scanner

- După 6 ani de urmărire, studiul a dovedit rezultate structural nefavorabile în 9 % din cazurile tratate precoce, comparativ cu 15% în grupul tratat convenţional.
- ETROP recomandă ablaţia LASER periferică în ROP tip 1 şi observare frecventă în ROP tip 2. La momentul derulării studiului ETROP, ablaţia retinei periferice s-a efectuat prin fotocoagulare LASER indirectă care înlocuise crioterapia.

În tabelul 1 sunt prezentate indicaţiile fotocoagulării LASER în ROP care definesc boala tip 1.

Tabelul 1

Indicaţiile fotocoagulării LASER în ROP: ROP tip 1

ROP prag	• stadiul 3, zona 1 sau 2, boala „plus", pe 5 ore de ceas contigue • stadiul 3 zona 1 sau 2, boala „plus", pe 8 ore de ceas necontigue
ROP pre-prag	• orice stadiu, zona 1, cu „plus" • stadiul 3 , zona 1, fără „plus" • stadiul 2 sau 3, zona 2, cu „plus"

- O dată stabilită indicaţia de tratament, acesta trebuie efectuat în primele 72 ore în forma clasică de ROP şi în primele 24 ore, în ROP agresivă posterioară.

Avantajele fotocoagulării LASER faţă de crioterapie în ROP

- Există câteva avantaje ale LASERULUI faţă de crioterapie:
  - fotocoagularea laser necesită anestezii generale mai scurte
  - tratează mai uşor ROP posterioară
  - este asociată cu mai puţine efecte secundare sistemice: apnee, bradicardie, stop cardiorespirator care să necesite resuscitare.
- Au fost raportate complicaţii oculare după fotocoagularea indirectă cu LASER diodă extensivă:
  - hemoragie în vitros
  - cataractă
  - inflamaţie intraoculară
  - efuzie coroidiană
  - hipertensiune intraoculară
    - teoretic, riscul de cataractă este foarte redus, având în vedere că radiaţia infraroşie a LASERULUI diodă este absorbită profund în coroidă şi nu la nivelul cristalinului
    - hemoragia în vitros este mai degrabă un semn al progresiei ROP decât o complicaţie a fotocoagulării LASER

Momentul fotocoagulării LASER în ROP

- Datorită ferestrei înguste de oportunităţi în care tratamentul LASER este eficient, recunoaşterea la timp a bolii este crucială pentru ca tratamentul să fie eficient. De aceea, **tratamentul trebuie susţinut de un screening care să identifice precoce ROP.**

Scanned with OKEN Scanner

- Tratamentul trebuie făcut într-un moment al istoriei naturale a bolii când proliferarea neovasculară poate fi oprită, deoarece odată ce începe tracțiunea vitreo-retiniană, controlarea bolii și prevenția dezlipirii retinei sunt dificile.
- Cunoașterea progresiei ROP în corelație cu timpul este esențială pentru un screening corect.
  - De obicei, ROP nu se dezvoltă în primele două săptămâni după naștere.
  - Vârsta medie de detectare a ROP în stadiul 1 este de 34 săptămâni VPC, ROP pre-prag apare la aproximativ 36 săptămâni VPC, iar ROP prag, la aproximativ 37 săptămâni VPC.
  - Vascularizarea retinei este finalizată până în săptămâna 40–44 VPC.
  - De aceea, **intervalul pentru detectarea ROP este cuprins între 32–40 săptămâni VPC.**
  - **Faza critică, în cursul căreia ROP progresează și s-ar putea să trebuiască tratată, este cuprinsă între 34–37 săptămâni VPC.**

Tehnica fotocoagulării LASER în ROP

- **Scopul fotocoagulării laser este de a distruge sursa de factor angiogenetic care este la originea neovascularizației cu complicațiile sale care conduc la orbire.**
- Cel mai frecvent utilizate tipuri de LASERE la ora actuală pentru tratarea ROP sunt LASERUL cu diodă (810 nm) și LASERUL Nd-YAG dublat în frecvență (532 nm), [1].
- În majoritatea situațiilor, energia LASER este eliberată indirect, LASERUL fiind atașat unui oftalmoscop indirect. S-au descris și modalități de tratare la biomicroscop sau transscleral. Astfel, Parvaresh și colaboratorii au publicat rezultatele fotocoagulării transsclerale cu LASER diodă, concluzionând că este mai ușoară din punct de vedere tehnic, îndeosebi pentru retina periferică, și cu mai puține complicații la nivelul segmentului anterior, precum dezvoltarea cataractei.
  - Toate tratamentele LASER trebuie efectuate în analogo-sedare, pe Secția de Neonatologie.
  - Înainte de tratament, pupilele sunt dilatate cu un amestec de tropicamidă 0,5% și fenilefrin 2,5%.
  - Pleoapele sunt menținute deschise pe parcursul tratamentului cu un blefarostat, iar corneea este lubrefiată periodic cu ser fiziologic. Energia LASER este focalizată pe retină cu o lentilă de +20 D sau +28 D.
- În general, fotocoagularea LASER a retinei se începe cu puterea de 150 mW care poate fi crescută gradat, până la obținerea efectului clinic dorit: arsură albicioasă pe retină.
  - Impactele LASER sunt aplicate contiguu, pe toată suprafața retinei avasculare, într-o singură ședință.
  - Orice mică suprafață de retină avasculară rămasă netratată poate fi la originea progresiei bolii spre stadii avansate.
  - Nu este recomandabil să se depășească puteri de 300 mW.

Scanned with OKEN Scanner

- Durata expunerii este de 200 ms, iar dimensiunea și focalizarea spotului rezultă din distanța dintre casca oftalmoscopului indirect (din care pornește raza LASER) și retină.
- Numărul total de impacte LASER/ochi variază între 2000–6000, în funcție de zonă și implicit, suprafața retinei nevascularizate.

Monitorizarea și evoluția ROP postlaser

- Primul control după LASER are loc la 6–7 zile și evaluarea cazului trebuie continuată la 6–7 zile, până când sunt semne evidente de regresie a bolii. **Dacă ROP nu regresează, repetarea tratamentului trebuie efectuată urgent**. Frecvența controalelor ulterioare este dictată de evoluția clinică a bolii.
- Rezultatul anatomic este evaluat prin oftalmoscopie indirectă. Următoarele semne sunt considerate pozitive:
  - dilatarea bună a pupilei
  - reducerea/dispariția tortuozității vaselor retiniene și a neovascularizației
  - reducerea/dispariția crestei
  - vasele normale ale retinei nu mai cresc spre periferie după fotocoagularea laser.
- Semnele de agravare sunt:
  - accentuarea bolii plus
  - persistența/recidiva neovascularizației
  - dezvoltarea crestei
  - tracțiune vitreo-retiniană
  - dragging al vaselor retinei
  - dezlipirea retinei
  - hemoragia în vitros.

Complicațiile și limitele fotocoagulării LASER în ROP

- **Fotocoagularea LASER a retinei este gold standard în tratamentul ROP cu eficacitate în peste 90% din cazuri.**
  - LASERUL distruge retina și au fost citate complicații legate de această metodă de tratament: arsuri corneene, iriene și cristaliniene, hipema, uveita, hemoragii retiniene, rupturi coroidiene.
- **Fotocoagularea LASER nu acționează asupra cauzei bolii.**
  - Forma de ROP agresivă posterioară este cea mai gravă, având prognosticul cel mai rezervat, comparativ cu forma clasică de ROP.
- Datorită absenței reperelor în AP-ROP, fotocoagularea LASER a retinei spre polul posterior este dificilă și uneori rămân arii netratate de retină avasculară, ca sursă de VEGF, fapt care explică progresia bolii. **În consecință, o singură ședință LASER este deseori insuficientă în APROP.**
- Condițiile locale, precum dilatarea nesatisfăcătoare a pupilei, persistența membranei pupilare și asocierea unui anumit grad de hemoragie vitreană, nu permite efectuarea unei fotocoagulări LASER adecvate în APROP.

Scanned with OKEN Scanner

- Uneori, starea generală a prematurului este pusă în pericol de timpii prelungiți de anestezie necesari pentru a efectua o fotocoagulare LASER laborioasă, așa cum se cere în APROP, forțând încheierea ședinței de tratament înainte ca toată retina nevascularizată să fie fotocoagulată. De asemenea, fotocoagularea LASER distruge retina, fapt care este semnificativ în formele de APROP.
- O problemă intens dezbătută este relația dintre fotocoagularea LASER și creșterea prevalenței miopiei. Prematurii au un risc mai mare de a dezvolta miopie, în absența ROP sau a tratamentului LASER. Tosuși, unele studii au demonstrat că **miopia a fost mai frecventă în grupul de prematuri tratați LASER**, decât în cel al prematurilor care nu au necesitat acest tratament.

Relația dintre injecțiile intravitreene cu anti-VEGF și fotocoagularea LASER în ROP

- Fotocoagularea LASER a retinei acționează distrugând elementele celulare care produc VEGF.
  - VEGF din cavitatea vitreană și din fluidul subretinian continuă să acționeze, în ciuda distrugerii complete și la timp a sursei sale
    - aceasta explică eșecurile după LASER în ROP și justifică **utilizarea anti-VEGF ca alternativă sau în asociere cu terapia LASER.**
- Uneori, starea generală gravă a prematurului nu permite analgo-sedarea pe care fotocoagularea LASER o reclamă; alteori, condițiile locale oculare fac aproape imposibilă efectuarea fotocoagulării laser: persistența membranei pupilare, dilatarea insuficientă a pupilei, medii hipotransparente.
  - În situațiile enumerate mai sus, la care se adaugă AP-ROP, injecțiile intravitreene cu anti-VEGF reprezintă prima linie de tratament pentru majoritatea specialiștilor. Chiar dacă în unele situații nu rezolvă problema definitiv, **injecția cu anti-VEGF întârzie evoluția ROP**, permițând amânarea fotocoagulării LASER până la un moment mai prielnic din punct de vedere sistemic și local [2].

Fotocoagularea LASER indirectă a retinei este metoda standard de tratament în ROP, absența efectelor secundare sistemice legate de această metodă constituind un avantaj major [3].

- **Fotocoagularea LASER stopează evoluția ROP în peste 90% din cazuri**
- **Regresia post-LASER este semnificativ mai bună în forma clasică de ROP, comparativ cu forma agresivă posterioară (APROP)**
- **Injecțiile intravitreene cu anti-VEGF au rezultate mai bune în APROP decât fotocoagularea LASER; asocierea lor cu fotocoagularea LASER ameliorează prognosticul anatomic și funcțional în formele severe de ROP**

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Simona-Delia Nicoară, Cristina Cristian, Iulian Irimescu, Anne-Claudia Stefanut, Gabriela Zaharie, Diode Laser Photocoagulation for Retinopathy of Prematurity: Outcomes After 7 Years of Treatment, J Pediatr Ophthalmol Strabismus, 51 (1): 39–45, 2014.
2. Simona D Nicoară, Anne C Ştefănuţ, Gabriela C Zaharie, Laura E Toader, Constanţa Nascutzy, Tudor C Drugan Regression rates following the treatment of aggressive posterior retinopathy of prematurity with bevacizumab versus LASER: 8-year retrospective analysis, Medical Science Monitor, 22: 1192–1209, 2016.
3. Simona Delia Nicoară, Therapeutic Options in Retinopathy of Prematurity, in Neonatal Medicine, (Antonina Chubarova), Intech Open, Rijeka, Croatia, 2018, ISBN 978-1-83962-276-2.
4. Graham A. Lee, David J. Hilford, Glen A. Gole: Diode LASER treatment of pre-threshold and threshold Retinopathy of Prematurity, Clinic. and Experim.Ophthalmology, 32, 2, April 2004, pg. 164.
5. Vardhan Raj Azad, Pasumala Laxminarayana, Kumar Harsh *et al.*, Prospective randomized evaluation of diode-LASER and cryotherapy in prethreshold Retinopathy of Prematurity, Clin. Experim. Ophthalmol., 32, 3, pg. 251, June 2004.
6. Early Treatment for Retinopathy of Prematurity Cooperative Group: Revised indications for the treatment of Retinopathy of Prematurity, Arch Ophthalmol., 2003, Dec.; 121 (12): 1684–1694.
7. Cryotherapy for Retinopathy of Prematurity Cooperative Group. Multicenter trial of cryotherapy for retinopathy of prematurity: preliminary results. Arch Ophthalmol. 1988;106 (4): 471–479. DOI: 10.1001/archopht.1988.01060130517027.
8. Kieselbach GF, Ramharter A, Baldissera I, Kralinger MT. Laser photocoagulation for retinopathy of prematurity: structural and functional outcome. Acta Ophthalmol Scand. 2006; 84(1): 21–26. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2005.00548.x.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 18

TERAPIA LASER ÎN PATOLOGIA RETINEI PERIFERICE

ALIN ȘTEFAN ȘTEFĂNESCU-DIMA,
CORNELIA ANDREEA TĂNASIE

- Patologia retinei periferice este complexă și poate avea consecințe grave asupra acuității vizuale, iar diagnosticarea corectă a acestor afecțiuni este strâns legată de o examinare oftalmologică completă, dar și de cunoașterea anatomiei și histologiei retinei și vitrosului, cât și a joncțiunii vitreoretiniene.
  - un diagnostic rapid și corect al acestor leziuni este necesar pentru instituirea unei conduite terapeutice optime.
- **Retina** sau tunica internă a globului ocular este un strat de țesut nervos care se află între membrana Bruch a coroidei și membrana hialoidă posterioară a corpului vitros. Ea se întinde de la marginea discului optic, locul unde fibrele nervoase părăsesc ochiul, la ora serrata, unde se continuă cu straturile epiteliale ale corpului ciliar. Deși conține milioane de celule, retina este o membrană transparentă și subțire de aproximativ 0,15 mm [1].
- Macroscopic, este alcătuită din mai multe regiuni, cu particularități structurale și funcționale diferite.
  - **Macula lutea**, situată în axul optic al ochiului este o zonă mai închisă la culoare datorită patului capilar coroidian și bogăției de pigment. În centrul său se află o depresiune, fovea, datorită lipsei unor straturi din histologia retinei, permițând astfel energiei luminoase să ajungă direct la celulele fotoreceptoare.
  - **Discul optic** sau **papila nervului optic**, reprezintă locul prin care axonii celulelor ganglionare părăsesc ochiul. Este alcătuit din două zone distincte:
    - o porțiune centrală, în profunzimea căreia se află lama criblată și
    - una periferică, marginea neuroretiniană, care corespunde zonei de dispunere a fibrelor optice unele peste altele [2].
  - **Retina periferică** reprezintă o zonă de tranziție între retina propriu-zisă și retina ciliară, care se subțiază progresiv și pierde din elementele nervoase și senzoriale, reducându-se la elementele nevroglice.
  - **Ora serrata** este o linie festonată, alcătuită dintr-o succesiune de zone concave anterior, separate prin digitații îndreptate spre criptele ciliare și

Scanned with OKEN Scanner

reprezintă trecerea de la retina neurală, multistratificată, la epiteliul ciliar monostratificat.

- Din punct de vedere histologic, retina este alcătuită din 10 straturi: epiteliul pigmentar retinian, stratul fotoreceptorilor, membrana limitantă externă, stratul nuclear extern, stratul plexiform extern, stratul nuclear intern, stratul plexiform intern, stratul celulelor ganglionare, stratul fibrelor nervoase și membrana limitantă interna, fiecare dintre acestea fiind format din diverse tipuri de celule.
- Vitrosul este un matrix extracelular transparent care ocupă 80% din volumul globului ocular și este situat anterior de retină și în spatele corpului ciliar și cristalinului.
  - Acesta este structurat în vitros central și vitros cortical anterior și posterior, așezat concentric celui central [3].
  - Anatomia vitrosului a fost intens studiată de-a lungul timpului, pornind de la studii *in vivo* [3,4] și continuând cu biomicroscopia [5] și microscopia în câmp întunecat [6].
  - În ultimii ani, atât studiul cât și examinarea clinică a vitrosului și a joncțiunii vitreoretiniene se realizează cu ajutorul tomografiei în coerență optică [7–9] și a sonografiei. Prin toate aceste tehnici au fost descrise structuri precum: ligamentul hialoidocapsular al lui Weigner care reprezintă atașamentul vitrosului de capsula posterioară a cristalinului, în mijlocul căruia se găsește spațiul lui Berger din care pornește canalul Cloquet, reminiscent al arterei hialoide din viața intrauterină. Acest canal străbate vitrosul central până la nivelul ariei lui Martegiani, zonă care se găsește în fața discului optic [6].
  - Din punct de vedere histologic, vitrosul este format din fibre de colagen, paralele, cu direcție anteroposterioară care pornesc de la nivelul orei serrata unde se află baza vitrosului și merg posterior, spre vitrosul cortical posterior, fibroblaste și hialocite [6].
- **Interfața vitreoretiniană** este formată din fibrele de colagen din vitrosul cortical posterior și membrana bazală a celulelor din membrana limitantă internă a retinei [10], având cea mai puternică aderență la nivelul bazei vitrosului, discului nervului optic, maculei și vaselor de sânge. Această aderență vitreoretiniană este mai puternică și difuză la tineri, devenind localizată și mai slabă odată cu înaintarea în vârstă și ducând la apariția dezlipirii posterioare de vitros, entitate situată la limita dintre fiziologic și patologic.
- Patologia joncțiunii vitreoretiniene provine fie din migrarea și proliferarea celulelor retiniene în spatele sau în interiorul vitrosului cortical posterior sau din tracțiunea exercitată de vitros asupra retinei centrale și periferice [6].
  - Dacă aceste fenomene se produc între vitros și retina centrală pot duce la apariția unor afecțiuni precum: membrană epimaculară, gaură macular lamelară sau completă, tracțiune vitreomaculară sau vitreofoveolară, hemoragie vitreană sau preretiniană, iar la nivelul retinei periferice: degenerescențe retiniene periferice, găuri retiniene și rupturi retiniene în clapetă.

Scanned with OKEN Scanner

- Aceste patologii pot produce, *per se*, alterarea acuității vizuale sau pot determina apariția dezliprii de retină cu implicații severe asupra funcției vizuale.

- O mare categorie de **rupturi retiniene** denumite **„asiptomatice"** includ în principal găuri rotunde operculate și atrofice.
  - Deoarece nu există o tracțiune vitreo-retiniană la marginea lor este puțin probabil ca dezlipirea de retină să apară datorită lor.
  - **Nu există dovezi care să susțină vreun beneficiu al terapiei profilactice în aceste cazuri.**
- **Rupturile de retină în potcoavă** asimptomatice prezintă un risc de 5% de dezlipire de retină, care deși este mic comparativ cu riscul de dezlipire de retină prin ruptură retiniană în potcoavă simptomatică, nu este echivalent cu riscul mai slab asociat cu găurile rotunde operculate sau atrofice. În acest caz, recomandările actuale sunt de **urmărire atentă fără tratament LASER profilactic** [11].
- **Rupturile retiniene „simptomatice"** reprezintă o altă categorie pentru care **intervenția LASER este, în general, indicată.**
  - Aceste rupturi se caracterizează prin prezența de „flash-uri" luminoase sau miodezopsii și apar, de obicei, datorită tracțiunii vitreo-retiniene crescute în timpul unei decolări posterioare de vitros acute [11].
  - Două semne prognostice importante sunt: prezența de celule pigmentare „tabacco dust" sau hemoragie *in vitros* în momentul evaluării. În aceste cazuri, aproximativ 70% din acești pacienți vor avea, cel puțin, o ruptură retiniană și, aproximativ, 90% din aceste rupturi sunt în cadranele superioare. În plus, cu cât hemoragia vitreană este mai densă, cu atât este mai mare probabilitatea de a prezenta ruptură retiniană [11,12].
- **Rupturile retininene cu tracțiune vitreană persistentă** (fig. 1) la marginea lor produc, în 50% din cazuri, dezlipire de retină, prin urmare trebuie efectuată **retinopexia LASER** (fig 2) **imediat** și astfel, scade riscul la mai puțin de 5% [11].

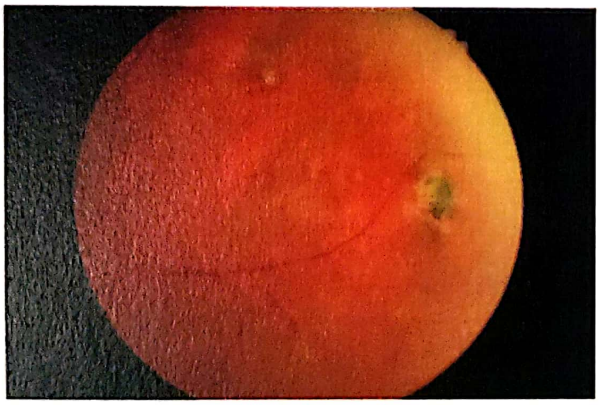


Figura 1. Ruptură retiniană cu clapetă.

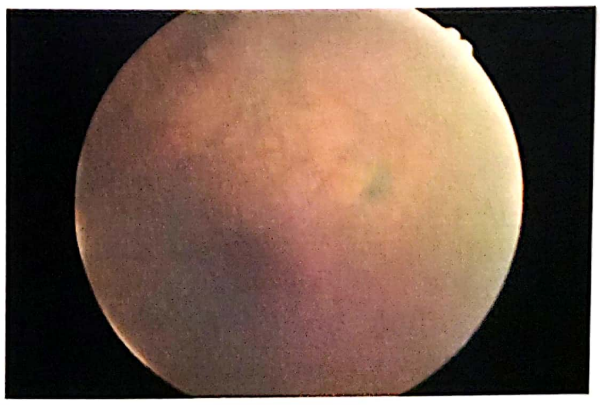


Figura 2. Ruptură retiniană cu clapetă și baraj LASER.

Scanned with OKEN Scanner

- **Degenerescența retiniană periferică** se caracterizează prin diferite tipuri de leziuni, precum leziuni lattice, în piatră de pavaj și chistice.
- Dintre acestea, cea mai frecventă este **degenerescența lattice** (fig. 3) care afectează 7–10% din populația generală, cu o incidență mai mare în a doua decadă de viață [14].

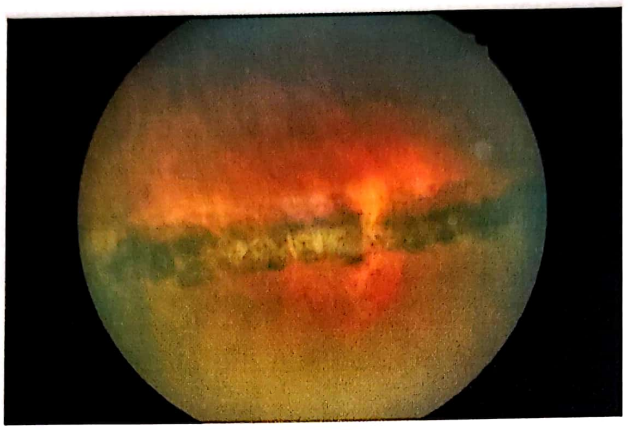


Figura 3. Degenerescență retiniană lattice.

– Aceasta se caracterizează prin leziuni atrofice rotunde, ovalare sau lineare, bine delimitate localizate între ecuator și baza vitrosului, paralel cu ora serrata [15].
– Histologic, se observă subțiere retiniană, lichefacția vitrosului, cât și aderența acestuia la marginea lattice-ului, dar și modificări vasculare și depuneri pigmentare, straturile retiniene fiind înlocuite cu celule gliale. În ceea ce privește etiologia acestei afecțiuni, au fost emise mai multe teorii, cele mai plauzibile fiind lipsa regională a membranei limitante interne cu defecte ale celulelor Müller [14] și efecte ale tracțiunii viteroretiniene [17].
– Incidența acestei degenerescențe este mult mai crescută la miopi, cu aproximativ 10% mai mare decât la populația generală, dovedind astfel că o altă etiologie este elongația axială crescută a ochiului miop [16].
– Studiile [14–16] au demonstrat că la nivelul leziunilor de lattice, retina este subțiată, chiar cu dispariția straturilor retiniene interne, ducând astfel la apariția găurilor retiniene atrofice. Aceste găuri sunt bine delimitate, nu asociază opercul sau clapetă și pot rămâne stabile mulți ani, fără să necesite tratament, doar urmărire periodică.
– În cele mai multe cazuri, **degenerescența lattice cu sau fără găuri atrofice** nu prezintă simptome, fiind decelate la o examinare oftalmoscopică de rutină, însă în **aproximativ 30% dintre cazuri, se poate asocia cu găuri retiniene cu clapetă** (fig. 4) **ce pot duce la dezlipire de retină regmatogenă** [18].

În aceste cazuri, se impune de **urgență retinopexia LASER.**

Scanned with OKEN Scanner

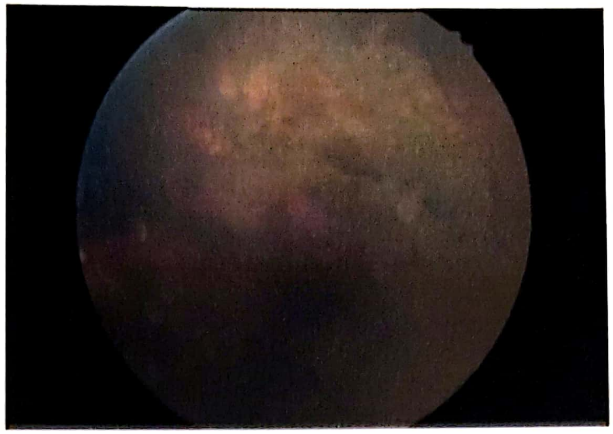


Figura 4. Degenerescența lattice cu gaură retinină și baraj LASER.

- Fotocoagularea LASER reprezintă o tehnică terapeutică ce folosește o sursă puternică de lumină pentru a coagula țesutul. Energia luminoasă este absorbită de țesutul ținta si convertită în energie termică. Când temperatura țesutului crește peste 65°C, au loc denaturarea proteinelor tisulare și necroza de coagulare [19].
  - **Scopul fotocoagulării laser în contextul rupturilor retiniene, care justifică acest tratament, este de a genera zone de aderență corioretiniană ferme care înconjoară complet o ruptură pentru a preveni dezlipirea retinei, prin tracțiunea vitreo-retiniană centripetă la marginea unei rupturi retiniene si trecerea vitrosului lichefiat în spațiul subretinian [11].**
  - Un fascicul colimat de lumină monocromatică prin efect termic creează o reacție specifică tisulară în retina sau coroida fotocoagulată. Energia luminoasă este absorbită în proporții variabile, în funcție de lungimea de undă, de către pigmenții de la nivelul fundului de ochi, melanina, hemoglobina si xantofila maculară. Energia luminoasă de intensitate mare determină leziuni în toate straturile: coroidă, epiteliu pigmentar retinian, retină neurosenzorială. Energia luminoasă de intensitate mică determină leziuni la nivelul epiteliului pigmentar retinian și fotoreceptorilor [19,20].
  - Efectul termic asupra țesutului determină ruperea legăturilor de hidrogen și a forțelor Wan der Waals cu denaturarea proteinelor și a acizilor nucleici, inactivarea enzimelor și alterarea aparatului genetic al celulelor. Consecințele sunt necroza, hemostaza și coagularea [19,20].
  - Efectele imediate vizibile oftalmoscopic sunt afectarea transparenței retiniene prin creșterea focala a celulelor necrotice si disrupția mecanică a retinei neurosenzoriale. Efectele tardive sunt reprezentate de inflamație, edem și procese reparatorii [19].
  - Repararea leziunilor termice laser induse la nivelul retinei începe la câteva ore post-tratament, celulele epiteliului pigmentar retinian încep să migreze, apar macrofage și o diviziune accelerata la nivelul epiteliului pigmentar retinian, celulelor endoteliale din coriocapilara,

Scanned with OKEN Scanner

fibroblaștilor, melanocitelor, celulelor Muller și celulelor gliale de suport ca răspuns secundar la pierderea de celule neuronale [20].

- Cei trei pigmenți naturali ai retinei, ce absorb energia luminoasă și sunt implicați în fotocoagulare sunt xantofilele, hemoglobina și melanina [11].
  - Melanina este localizată în epiteliul pigmentar retinian și coroidă și are capacitatea de a absorbi aproape întreg spectrul de lumină vizibilă, precum și lumina infraroșie, mai puțin lumina albastră. Astfel, ochii care au concetrație mai mare de melanină în coroidă și în epiteliul pigmentar retinian sunt mai ușor supuși fotocoagulării [11].
  - Hemoglobina absoarbe cel mai bine lumina galbenă și verde, cu absorbție minimă pe roșu [11].
  - Xantofila, pigment din straturile plexiform intern și extern ale retinei, absoarbe maxim lumina albastră, cu absorbție mai mică a lungimii de undă galbene sau roșii [11].

- Principalele lungimi de undă și LASERII folosiți uzual sunt:
  - LASERUL argon (verde) = 514,5 nm
  - LASERUL ND: YAG dublat în frecvență (galben-verde)= 532 nm este ideal pentru tratarea maculei, fiind slab absorbit de către xantofilă și cu excelentă absorbție de către hemoglobină și epiteliul pigmentar retinian.
  - LASERUL Kripton (galben)= 568,2 nm, folosit pentru fotocoagularea maculei.
  - LASERUL Kripton (roșu)= 647,1 nm este absorbit slab de melanină, nu este absorbit de xantofilă, dar cu beneficiul suplimentar de a fi mai potrivit în tratarea prin medii opace precum cataracta sau hemoragie vitreană. Cu toate acestea, lungimea de undă mai mare produce un disconfort prin penetrarea profundă în coroidă ce poate duce la durere și chiar la afectarea focală a membranei Bruch [19,20].

- **Pentru retinopexia LASER, lumina verde este ideală** datorită absorbției sale excelente de către melanina și hemoglobină, cu absorbție relativ slabă de către xantofilă, evitând astfel potențiale leziuni maculare [11].
  - Retinopexia LASER pentru blocarea rupturilor retiniene constă în trei rânduri de impacte laser contigue ce înconjoară complet ruptura retiniană pentru a asigura o adeziune corio-retiniană fermă [12].
  - Se selectează următorii parametrii tehnici: dimensiunea spotului de 200 microni. Spoturile mici produc o putere mai mare pe unitatea de suprafață față de spoturile mai mari și trebuie folosite cu precauție pentru a evita ruperea membrane Bruch, cu durata de 0,1–0,2 s [19)].
  - Se începe cu putere mică care este crescută progresiv, până se obține o leziune retiniană albă.
  - Prezența lichidului subretinian superficial sau o lipsă relativă de epiteliu pigmentar și melanocite coroidiene poate necesita utilizarea unor puteri mai mari.
  - Dacă este prezentă cataracta sau hemoragia *in vitros*, putem obține efectul dorit prin scăderea diametrului spotului sau prin creșterea duratei impactului.

Scanned with OKEN Scanner

  - În ochii vitrectomizați, umpluți cu gaz sau silicon, se aleg puteri mai mici deoarece radiația LASER prezintă o absorbție mai mică în cavitatea vitreană [20].
- LASERUL poate fi efectuat prin oftalmoscopie indirect, la lampa cu fantă sau prin intermediul unui endolaser în timpul intervențiilor chirurgicale intraoculare [12].
  - La pacienții cu rupturi retiniene în periferia medie a retinei se preferă poziționarea la lampa cu fantă și utilizarea lentilelor de contact, ce oferă o vizualizare mai bună a retinei și imobilizarea globului ocular pe parcursul tratamentului LASER.
  - Lentilele folosite se încadrează în două categorii: lentile cu imagine dreaptă, furnizează o imagine dreaptă și mărită și cele trei oglinzi permit accesul până în periferia extremă a retinei (Goldman) și cu imagine inversată ce furnizează o vedere panoramică globală (panfundoscop).
  - Oftalmoscopia indirectă, cu LASER este metoda preferată pentru tratamentul rupturilor retiniene în periferia îndepărtată.
  - Aspectul unui impact LASER in funcție de puterea folosită poate fi albicios, roz-somon, dacă leziunea histologică majoră este la nivelul epiteliului pigmentar retinian, în timp ce fotoreceptorii și coricapilară sunt foarte puțin afectate, alb-intens dacă modificările histologice sunt necroza epiteliului pigmentar retinian și a fotoreceptorilor și tromboza coriocapilarei, sau alb intens cu halouri gri dacă se produce necroza retinei și a epiteliului pigmentar retinian [21].
  - La 20 de minute de la aplicare, impactul apare mai puțin viu, cu marginile slab delimitate, cu un discret halou de edem. La 5–6 zile de la fotocoagulare, aria tratată prezintă un edem difuz, iar impactul apare ca o pată mică albicioasă. Spre ziua a 8-a, survine dispersia pigmentară. La 15–20 zile, se evidențiază o cicatrice rotundă, ușor neregulată, cu periferia mai palidă și acumulare de granule pigmentare în centru, uneori și în periferie. La peste două luni de la fotocoagulare, cicatricea dobândește aspectul definitiv. În funcție de intensitatea fotocoagulării, poate fi gri difuz sau albă, cu migrări pigmentare. Mai târziu, se produce atrofia coricapilarei, cu evidențierea marilor vase coroidiene [21].
- Deși este o procedură sigură, pot apărea complicații ale retinopexiei laser, precum: lezarea accidentală a maculei, dezlipire de retina printr-un tratament insuficient, aplicarea a mai puțin de trei rânduri de impacte sau printr-un tratament excesiv aplicat pe o retină distrofică determină apariția unei rupturi la limita dintre cicatrice și retina netratată, hemoragie vitreană sau retiniană.
- Urmărirea pacientului cu retinopexie este foarte importantă. Oftalmoscopia indirectă, cu sau fără indenție sclerală este recomandată la trei săptămâni după tratamentul inițial.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Linda S. Costanzo, Physiology, Fifth Edition,Elsevier, 2014.
2. Lee Ann Remington, Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System, Elsevier, 2012.
3. Smet MD, Gad Elkareem AM, Zwinderman AH, The Vitreous, the Retinal Interface in Ocular Health and Disease, Ophthalmologica 2013;230(4):165–178.
4. Hruby K. Clinical examination of the vitreous body. Proc R Soc Med 1954; 47(3):163–170.
5. Stanga PE, Sala-Puigdollers A, Caputo S, Jaberansari H, Cien M, Gray J, D'Souza Y, Charles SJ, Biswas S, Henson DB, McLeod D, In vivo imaging of cortical vitreous using 1050- nm swept-source deep range imaging optical coherence tomography, Am J Ophthalmol. 2014, 157(2): 397–404.
6. Sebag J. The vitreous: structure, function, and pathobiology. New York: Springer-Verlag; 1989:80–95.
7. Schuman JS, Spectral Domain Optical Coherence Tomography for Glaucoma (An AOS Thesis), Trans Am Ophthalmol Soc. 2008, 106: 426–458.
8. Sebag J, Vitreous: In Health and Disease, Springr, Science+Business Media New York, 2014, 978-1-4939-1086-1-1.
9. Stefanescu-Dima AȘ, Corici CA, Manescu MR, SasTN, Iancau M, Mocanu CL, Posterior vitreous detachment and macular anatomical changes – a tomographic- electroretinographic study, Rom J Morphol Embryol 2016, 57(2 Suppl):751–758.
10. Gartner J: Vitreous electron microscopic studies on the fine structure of the normal and pathologically changed vitreoretinal limiting membrane. Surv Ophthalmol 1964,9: 291–4.
11. Ruwan A. Silva, Mark S. Blumenkranz, Prophylaxis for Retinal Detachements, 2013, www. AAO.org.
12. Jack J Kansky, Clinical Ophtalmology a Systematyc Approach, Seventh Edition, Elsevier, 2011.
13. Lewis, H. Peripheral retinal degenerations and the risk of retinal detachment. Am. J. Ophthalmol. 2003, 136,155–160.
14. Byer NE. Lattice degeneration of the retina. Surv Ophthalmol. 1979; 23:213–48.
15. Varsha Manjunath, BS1, Mohammed Taha, MD1, James G. Fujimoto, PhD2, and Jay S.Duker, MD1, Posterior Lattice Degeneration Characterized by Spectral Domain Optical Coherence Tomography, Retina. 2011 March ; 31(3): 492–496.
16. Straatsma BR, Zeegen PD, Foos RY, *et al.* Lattice degeneration of the retina. XXX Edward Jackson Memorial Lecture. Am J Ophthalmol. 1974; 77:619–49.
17. Tolentino, F.; Schepens, C.; Freeman, H. Vitreoretinal Disorders, Diagnosis and Management. Philadelphia: Saunders; 1976. p. 340–9.
18. Mitry D, Charteris DG, Fleck BW, *et al.* The epidemiology of rhegmatogenous retinal detachment:geographical variation and clinical associations. Br J Ophthalmol 2010;94:678–84.
19. J. Ryan,Retina, Fourth Edition, Edithor-in-Stephen. J, 2006, Elsevier Inc. Volume I, Part 1, Section 7, Retinal LASER Therapy: biophysical basis and application.
20. BoydS, Amar Agarwal A, Boyd B, Laser Surgery of the Eye – The art of lasers in Oftalmology, Highlights of Ophthalmology International, 2005.
21. Marieta Dumitrache, Tratamentul Chirurgical și Tratamentul LASER în Boli Oculare, Editura Universitară „Carol Davila" București, 2014.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 19

OPŢIUNI DE TERAPIE LASER ÎN AFECŢIUNILE MACULEI

HORIA T. STANCA

INTRODUCERE

- LASER este un acronim pentru *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.
- Un fascicul luminos se compune din pachete individuale de energie denumite cuante sau fotoni. Fiecare foton are o energie anume şi o direcţie.
  - energia unei cuante de lumină este direct proporţională cu frecvenţa, aceasta fiind inversul lungimii de undă.
  - în prezenţa unui material LASER corespunzător, este posibil ca o cuantă de lumină să declanşeze eliberarea unei alte cuante cu aceeaşi lungime de undă şi direcţie. Acest fenomen este denumit emisie stimulată şi este elementul esenţial din teoria LASERELOR.
- Radiaţia LASER are energie înaltă, trece cu uşurinţă prin diverse medii, fiind polarizată şi poate fi precis focalizată.
  - elementele sale definitorii sunt coerenţa, monocromatismul şi direcţionalitatea.
  - componentele unui LASER sunt: mediul (gaz – HeNe, Ar, Kr, CO_2, ArF; lichid – rodamina; solid – Nd, GaAlAs/dioda), mecanismul de excitaţie (pompa electrică, optică sau chimică) şi mecanismul de *feed-back* sau cavitatea de rezonanţă (oglinzi de rezonanţă sau amplificare în cascadă).
- Modurile temporale de funcţionare ale LASERILOR sunt continuu (fluxul de fotoni este constant şi durează peste 250 ms) sau pulsat (fluxul de fotoni durează între 10^{-3} şi 10^{-15}s)
  - duratele pulsurilor LASER variază de la zeci de femtosecunde la infinit.
- Tehnicile de pulsare folosite pentru diferite durate de puls include shuttere electronice (până la 1 ms), lămpi pulsatile (până la câteva μs), *Q-switching* (până la câteva ns) sau *mode-locking* (până la câteva zeci de fs).

Scanned with OKEN Scanner

- Aplicaţiile LASERILOR în biologie se bazează pe interacţiunea LASER-ţesut care implică transmisie, reflexie, împrăştiere şi absorbţie şi implicit pe efectele pe care le generează radiaţia LASER (termic, mecanic/ fotodisruptiv, electric, biologic).
- Există variabile care ţin de LASER (lungimea de undă, puterea, dimensiunea spotului şi durata de expunere) dar sunt şi variabile ale ţesutului ţintă (transparenţa, pigmentarea şi conţinutul de apă).
- Primele aplicaţii ale LASERILOR în medicină s-au produs în Oftalmologie şi s-au bazat pe efectul termic al radiaţiei LASER cu posibilitatea producerii de arsuri controlate la nivelul retinei reducând astfel severitatea afectării oculare în retinopatia diabetic proliferativă [1]
  - LASERELE au devenit disponibile pentru aplicaţiile oftalmologice la sfârşitul anilor '60 şi au devenit mai frecvent utilizate în anii 1970
  - tratamentul de fotocoagulare laser a retinei pentru retinopatia diabetică a devenit un standard de îngrijire de la publicarea rezultatelor Studiului Retinopatiei Diabetice (DRS) la sfârşitul anilor 1970 [2]. Acest studiu a arătat o **mare reducere a pierderii severe de vedere în boala proliferativă de risc înalt atât pentru fotocoagulări arc xenon cât şi pentru cea cu LASER argon** [3].
- Tehnologia LASER a evoluat semnificativ de-a lungul a patruzeci de ani de experienţă clinica trecând de la fotocoagularea cu arc Xenon, la LASERUL cu argon albastru-verde, apoi la cel cu argon verde şi ajungând astăzi la LASERII roşii sau galbeni.
  - toate aceste diferenţe de culoare au legătură cu lungimea de undă, care este selectată în funcţie de efectul terapeutic dorit.
  - **emisia radiaţiei LASER a suferit schimbări în timp trecând de la regimul continuu, la cel subliminal (*subthreshold*) şi ajungând astăzi la modul micropulsat.**
  - dimensiunile LASERILOR s-au redus impresionant datorită modernizărilor sistemului de răcire ajungându-se de la aparate de sute de kilograme, amplasate într-o încăpere special destinată, la echipamente mobile transportate cu uşurinţă la locul ales pentru tratament.
- **Există două tipuri clasice de tratament LASER asupra retinei: fotocoagularea LASER tip focal sau grid şi fotocoagularea LASER tip scatter (panretiniană).**
  - în cazul ***tratamentului focal sau grid,*** sunt ţintite vase de sânge individuale, alterate structural prin procese de tip ocluziv.
    - energia LASER vizează direct zona de interes pentru a distruge ţesutul retinian lezat şi a elimina scotoamele şi alterarea vederii.
    - în ultimii ani acest tip de tratament, adresat mai ales regiunii maculare, a fost ajustat prin modificarea modului temporal de acţiune al LASERILOR, ***trecându-se de la regimul continuu la emisii scurte şi/sau micropulsate, viza terapeutică fiind fototermostimularea sau distrucţia foarte limitată a retinei externe şi nu arderea în toată grosimea a straturilor retinei.***

Scanned with OKEN Scanner

- în tratamentul ***tip scatter – panfotocoagularea retiniană (PRP)*** – se distribuie un număr variabil de spoturi LASER în afara regiunii centrale maculare, în scopul ***distrugerii retinei periferice ischemice generatoare de factor de creştere vasculară endotelială*** – VEGF (vascular endothelial growth factor).
  - prezența VEGF generează vase anormale retiniene (neovase), care sunt markerul retinopatiei diabetice proliferative (RDP).
  - neovasele nu au pereți proprii indemni și sunt responsabile de apariția complicațiilor grave ale bolii oculare diabetice avansate – hemoragie vitreană, dezlipire de retină tracțională și glaucom secundar neovascular.
  - distrugerea neovaselor și inhibarea secreției de VEGF este efectul major indus de LASERII termici în tehnica de panfotocoagulare.

- **Tratamentele LASER nu sunt menite să îmbunătățească direct vederea, ci să prevină degradarea subsecventă a funcției vizuale, dar și acest aspect a fost ameliorat prin utilizarea unor generații noi de LASERI, care protejează țesuturile.**

PARAMETRI ŞI TEHNICI

- Majoritatea chirurgilor practică fotocoagularea cu LASERI, vizând intervalul de lumină vizibilă între 400–780 nm sau lungimi de undă în infraroşu. Sistemele de livrare a LASERULUI de segment posterior pot folosi lumina verde, roşie, galbenă sau infraroşie.

LUNGIMEA DE UNDĂ

- Alegerea lungimii de undă optime depinde de spectrul de absorbţie al ţesutului ţintă. Eficacitatea oricărui fotocoagulator depinde de cât de bine penetrează lumina mediile oculare şi de cât de bine este absorbită lumina de către pigmentul ţesutului ţintă. **Lumina este absorbită în principal de către ţesuturile oculare care conţin melanină, xantofilă, sau hemoglobină.**
  - **melanina** se găseşte în epiteliul pigmentar retinian, sub formă de melanozomi şi în coroidă, ca granule de melanocite. **Ea absoarbe excelent lungimile de undă verde, galbenă, roşie şi infraroşie**
  - xantofila maculară se găseşte numai în foveea senzorială. **Absoarbe rapid albastrul, dar minim** lungimile de undă corespunzătoare culorii **galben sau roşu**.
  - hemoglobina, componentă sanguină, **absoarbe uşor albastrul, verdele, galbenul**, cu absorbţie **minimă** a lungimilor de undă corespunzătoare luminii **roşii**.

Scanned with OKEN Scanner

- Lumina albastră este absorbită de pigmentul xantofil macular şi nu este o alegere bună pentru fotocoagularea maculară.
- Dispersia luminii influenţează de asemenea alegerea lungimii de undă. Lumina albastră, cu lungimea ei de undă mică, este dispersată mai mult decât razele cu lungimi de undă mari şi astfel are un potenţial mai mare de a produce afectare fotochimică retiniană în apropierea retinei netratate.
  - lumina albastră este de asemenea dispersată de opacitatile cristaliniene (cristalin senescent), necesitând mai multă iradiere decât lumina cu lungime de undă mare pentru a finaliza fotocoagularea retiniană.
- Lumina verde este absorbită bine de melanină şi hemoglobină.
- Lumina roşie este de asemenea absorbită bine de melanină, dar este absorbită slab de hemoglobină.
  - Din moment ce radiaţia roşie de krypton (647 nm) are o lungime de undă mai mare decât radiaţia verde de argon, este absorbită mai profund; prin urmare, tratamentul folosind roşu krypton poate fi mai inconfortabil. Hemoragia este dificil de tratat folosind roşu-krypton deoarece hemoglobina absoarbe puţin din radiaţia cu această lungime de undă. Cu toate acestea, radiaţia roşie de Krypton penetrează mediile neclare mai bine decât o fac radiaţiile cu lungime de undă mică.
- În general, iradierea necesară pentru a obţine o leziune vizibilă oftalmoscopic este dependentă mai mult de pigmentarea fundului de ochi, unde se absoarbe cea mai mare parte din radiaţie.

Principalele lungimi de undă ale unor LASERE comune de fotocoagulare sunt prezentate în tabelul 1:

Tabelul 1

Principalele lungimi de undă şi LASERII folosiţi uzual

LASER	Lungime de undă (nm)
Argon (albastru–verde)	488,0
Argon (verde)	514,5
Nd:YAG dublat în frecvenţă	532,0
Krypton (galben)	568,2
Krypton (roşu)	647,1
Colorant acordabil	variabilă (între 570–630 nm), depinde de colorant
Diodă	Variabilă (între 780–850 nm), depinde de diodă
Nd:YAG	1064,0

ALEGEREA LUNGIMII DE UNDĂ A LASERULUI

- Aşa cum am precizat mai sus în funcţie de scopul tratamentului, **chirurgul ia în considerare proprietăţile de absorbţie ale pigmenţilor oculari cheie atunci când alege lungimea de undă** corespunzătoare pentru a fotocoagula ţesutul ţintă, încercând în acelaşi timp să protejeze ţesutul normal adiacent
  - **aria de coagulare efectivă (adâncime şi diametru) este direct legată de intensitatea şi de durata iradierii, şi aceşti factori pot deseori să elimine diferenţele teoretice dintre variatele lungimi de undă.**

Scanned with OKEN Scanner

- pentru un set de parametri specifici ai LASERULUI (dimensiunea spotului, durata, puterea), intensitatea arsurii obţinute depinde de transparenţa mediilor oculare şi de gradul de pigmentare al fundului de ochi.

- **LASERUL cu lumina verde produce lumină care este bine absorbită de melanină şi de hemoglobină şi mai putin de xantofilă.**
  - datorită acestor caracteristici **LASERUL cu lumină verde a înlocuit LASERUL cu lumina albastră-verde în tratamentul patologiei vasculare retiniene şi al neovascularizaţiei coroidiene**
    - LASERUL cu lumină albastră-verde emite lungimi de undă atât în spectru albastru, cât şi în verde. Speranţa iniţială că această combinaţie va închide mugurii de neovascularizaţie nu s-a concretizat
    - dezavantajele LASERULUI cu lumină albastră-verde, asociate mai ales luminii albastre, includ o dispersie şi o absorbţie crescute datorate cristalinului cataractat, absorbţie la nivelul xantofilei maculare şi o potentială toxicitate fotochimică. S-au notat aceste date doar pentru compararea istorică, întrucât **această lungime de undă nu se mai utilizează** în practica clinică.
- **LASERUL cu lumina roşie** penetrează mai bine decât alte lungimi de undă prin nucleul sclerotic al cristalinului cataractat şi prin hemoragiile vitreene moderate. În plus, este puțin absorbit de xantofilă, putând fi util **in tratamentul neovascularizaţiei coroidiene adiacente foveei**.
- **LASERUL cu lumina infraroşie are caracteristici similare celui cu lumina roşie, dar oferă o penetrare tisulară mai profundă**.
- **LASERUL cu lumina galbenă** are printre avantajele sale: dispersie minimă prin nucleul sclerotic, absorbţie minimă la nivelul xantofilei si potenţiala distrugere fotochimică mică. Se pare că este util pentru **distrugerea structurilor vasculare cu lezarea minimă a ţesutului pigmentat** adiacent; de aceea, poate fi **folositor pentru tratamentul leziunilor vasculare retiniene sau neovasculare coroidiene.**

PUTEREA

- Dimensiunea leziunii retiniene este dependentă de puterea LASERULUI. Majoritatea sistemelor LASER de fotocoagulare sunt controlate prin modificări ale nivelului de putere, în timp ce majoritatea LASERELOR fotodisruptive (Nd:YAG) sunt controlate prin modificări ale nivelului de energie.

TIMPUL DE EXPUNERE

- Expunerile mici pot conduce la efecte fotodisruptive, în timp ce expunerile de lungă durată conduc la efecte fotocoagulante şi fotochimice. Cu toate acestea, în domeniul fotocoagulării, puterea folosită influenţează dimensiunea leziunii într-o mai mare măsură decât timpul de expunere.

Scanned with OKEN Scanner

MĂRIMEA SPOTULUI

- **Tratamentul LASER focal este optimizat folosind spoturi de dimensiune mică (cu diametru de 50–100 µm), iar fotocoagularea panretiniană**, care necesită acoperirea unor zone mari de retină, este facilitată de folosirea unor spoturi mai mari (200–500 µm).
  - spoturile mici pot determina complicaţii cum ar fi: ruptură coroidiană, neovascularizaţie coroidiană secundară când sunt folosite nivele înalte de iradiere.
- Există disponibile mai multe sisteme de lentile de contact, ce pot fi folosite pentru a direcţiona energia LASER către polul posterior.
  - pentru a alege lentila şi mărimea spotului corecte pentru diversele aspecte clinice, este important a înţelege influenţa lentilei asupra mărimii spotului
    - pentru lentila Goldmann, dimensiunea spotului se corelează strâns cu dimensiunea reală a leziunilor retiniene produse
    - pentru lentila Mainster, lentila panfundoscopică Rodenstock şi lentila Krieger, dimensiunea spotului retinian este practic mai mare decât dimensiunea setată a spotului cu aproximativ 35–50%. Această disparitate între dimensiunea setată a spotului şi dimensiunea efectivă a spotului trebuie să fie ţinute minte atunci când folosim lentile.

INDICAŢIILE LASERILOR ÎN PATOLOGIA MACULARĂ

- Macula este regiunea cea mai sensibilă a retinei, iar distrugerea ei implică pierderea vederii centrale. Tehnicile de laser adresate afecţiunilor maculare au urmărit fie crearea unor leziuni termice limitate cu menajarea întotdeauna a foveei, regiunea centrală a maculei, fie alterarea exclusivă a retinei externe şi cruţarea straturilor neuronale. Edemul macular datorat unor afecţiuni vasculare (diabet, ocluzii venoase etc.), exudaţia intraretiniană sau subretiniană sunt abordate prin metode LASER diverse.

APLICAŢII LASER MACULARE ÎN EMISIE CONTINUĂ

Edemul macular diabetic este cea mai frecventă manifestare a retinopatiei diabetice, şi cea mai frecventă cauză de pierdere a vederii la populaţia diabetică.

- Studiul ETDRS (*The Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*), un studiu clinic randomizat multicentric, a stabilit cu certitudine, printre altele, eficacitatea fotocoagulării LASER focale sau în grilă în **edemul macular diabetic clinic semnficativ (EMCS)** [4,5].
- Studiul a definit astfel EMCS:

Scanned with OKEN Scanner

- edem retinian la mai puțin de 500 μm de centrul maculei;
- exsudate dure la mai puțin de 500 μm de centrul maculei asociate cu edem retinian adiacent;
- edem retinian de 1 DP sau mai mare la mai puțin de 1 DP de centrul maculei
- microanevrismele localizate între 500 μm și 3000 μm de centrul maculei trebuie tratate prin fotocoagulare LASER focală.

- Studiul ETDRS recomandă **spoturi de 50–100 μm, timp de expunere de 0,1 secunde sau mai puțin, cu intensitate moderată.**
- **Retratamentul** a fost luat în considerare **dacă EMCS a persistat după 3–4 luni** de urmărire, în caz de microanevrisme situate până la 300 μm de centrul maculei considerate a fi tratabile [4].
- **În prezent**, protocolul modificat al ETDRS de **fotocoagulare cu LASER grid sau focal** a fost propus ca tratament de elecție pentru EMDCS [6].
- Deși acest termen continuă încă să fie utilizat pe scară largă, ghidurile actuale recomandă ca Edemul Macular Diabetic (EMD) să fie clasificat în forma cu implicare centrală sau cea fără implicare centrală, în acord cu evaluarea clinică și OCT (când este posibil).
  - pacienții cu Edem Macular Diabetic fără implicare centrală pot fi puși în observatie până la progresia către EMD cu implicare centrală, sau se poate efectua LASER focal pentru a trata microanevrismele în cazul în care foveea este amenințată.

Ocluzia de ram venos retinian (ORVR) este o disfuncție vasculară, a doua ca frecvență după retinopatia diabetică.

- În istoria naturală a ORVR, scăderea acuității vizuale poate să apară dintr-o multitudine de cauze.
  - acut, prezența unei hemoragii intraretiniene dense cu prezența preretiniană a sângelui poate duce la reducerea acuității vizuale
  - cronic, patologia maculară cauzată de edem sau ischemie poate să ducă la pierderea vederii. Ischemia retiniană poate duce la neovascularizație retiniană secundară, cu producerea de hemoragie vitreană sau decolare de retină [7].
- Studiile inițiale despre fotocoagularea în ORVR aveau recomandări variabile. A fost nevoie de un studiu clinic prospectiv, randomizat, controlat, pentru a stabili evoluția naturală a bolii, precum și eficacitatea tratamentului.
- Concluziile *The Branch Vein Occlusion* Study Group (BVO) [8,9] au dus la următoarele recomandări clinice:
  - în cazul Acuității Vizuale (AV) 20/40 sau sub 20/40 – să se aștepte rezoluția suficientă a hemoragiei retiniene pentru a obține imagini de calitate la angiofluorografie (AFG); să se evalueze pe AFG edemul macular – perfuzie *versus* nonperfuzie maculară; dacă edemul macular explică reducerea acuității vizuale, și vederea continuă să fie 20/40 sau

Scanned with OKEN Scanner

sub 20/40 fără îmbunătățire spontană după trei luni de urmărire, se recomandă fotocoagularea LASER tip grilă maculară.
- în cazul în care reducerea acuității vizuale este produsă de nonperfuzia maculară – nu există nici un tratament disponibil pentru ameliorarea acesteia.
- pentru interesarea unei zone retiniene mai mare de 5 DP – să se aștepte rezoluția suficientă a hemoragiei retiniene pentru a se obține imagini de calitate la AFG; să se evalueze pe AFG nonperfuzia.
  - dacă sunt interesate mai mult de 5DP, se recomandă urmărire la intervale de patru luni pentru apariția neovascularizației; dacă apare și se confirmă neovascularizația, se recomandă fotocoagulare LASER în cadranul implicat, în acord cu protocolul descris [9].

- Fotocoagularea LASER grilă a edemului macular implică numeroase arsuri albe, de intensitate medie, pe aria de *leakeage* capilar identificată în urma AFG-ului.
  - se utilizează o mărime a spotului de 80–100 μm, extinzându-se până la marginea zonei foveale avasculare (FAZ) și nu mai periferic de arcada vasculară [4];
  - ochiul tratat este reevaluat la patru luni cu repetarea AFG-ului;
  - examenul clinic, alături de rezultatele angiografiei, determină necesitatea repetării tratamentului LASER. Este important sa precizăm importanța **AFG în precizarea statusului ischemic retinian**, dar în ceea ce privește **tratarea ariilor de edem macular ghidarea prin tomografie în coerență optică este net superioară.**
- **Obstrucția de venă centrală retiniană (OVCR)**, poate să producă o scădere semnificativă a acuității vizuale. OVCR se clasifică în nonischemică (perfuzată), sau ischemică (nonperfuzată). Ambele tipuri pot produce leakage capilar difuz cu edem macular marcat. Tipul ischemic poate să conducă la neovascularizație cu posibilă implicare a segmentului anterior și dezvoltarea glaucomului neovascular, sau afectarea segmentului posterior cu apariția hemoragiei vitreene.
- Tratamentul OVCR și a complicațiilor ei au fost controversate în trecut. Din acest motiv, studiul CVOS (*Central Vein Occlusion Study*) [10,11] a fost desemnat să răspundă la întrebarea: **când trebuie intervenit la pacienții cu complicații ale OVCR?** După analiza datelor studiului au fost făcute următoarele recomandări de tratament:
  - fotocoagulare maculară în grila la ochi cu edem macular non-ischemic (perfuzie păstrată) nu este recomandată.
  - fotocoagularea panretiniană profilactică, înainte de apariția neovascularizației iriene sau a unghiului, nu previne dezvoltarea neovascularizației în toate cazurile, deci nu este recomandată. Regresia promptă a neovascularizației, ca răspuns la panfotocoagularea retiniană, este mai probabil sa apară la acei ochi care nu au mai beneficiat înainte de panfotocoagulare retiniană.

Scanned with OKEN Scanner

– deşi prognosticul vizual este rezervat şi depinde de statusul iniţial, monitorizarea atentă a apariţiei neovascularizaţiei unghiului şi/sau iriene şi tratamentul prompt al neovascularizaţiei unghiului şi/sau iriene prin panfotocoagulare scad riscul de apariţie a glaucomului neovascular.

Neovascularizaţia coroidiană (NVC) este o condiţie patologică comună cauzată de o varietate de entităţi clinice, cea mai frecventă fiind degenerescenţa maculară legată de vârsta (DMLV). Alte cauze de NVC includ histoplasmoza oculară (POHS), miopia degenerativă, striile angioide, rupturile coroidiene, tumorile, retinopatia de iradiere, idiopatice.

- **DMLV** este cea mai comună cauză de cecitate în SUA şi ţările dezvoltate
  - forma exudativă sau neovasculară a DMLV este responsabilă de majoritatea cazurilor de scădere severă a acuităţii vizuale, deşi este mai puţin frecventă decât forma nonexsudativă sau uscată a DMLV.
  - studiul clinic MPS (*Macular Photocoagulation Study*) [12–14] a fost efectuat iniţial pentru a se răspunde la întrebarea dacă fotocoagularea LASER poate fi eficientă în tratamentul DMLV complicată cu NVC. S-au urmărit inclusiv pacienţi cu POHS si NVC idiopatică.
  - studiul MPS a clasificat NVC ca extrafoveoalară, juxtafoveolară şi subfoveolară în funcţie de localizarea faţă de maculă. În cazurile de DMLV, POHS sau de NVC idiopatică cu leziuni extrafoveolare sau juxtafoveolare, ochii trataţi cu LASER au pierdut mai puţin din acuitatea vizuală decât cei netrataţi, cu rate crescute însă de persistentă şi recurenţă.
- **Neovascularizaţia coroidiană extrafoveolară**, definită ca NVC bine demarcată **situată între 200 µm şi 2500 µm de centrul zonei foveale avasculare (FAZ), rămâne singura entitate** dintre cele enumerate mai sus **acceptată în prezent a fi tratată prin fotocoagulare LASER.** Complexul neovascular este tratat într-o manieră confluentă pentru a produce albirea uniformă a retinei.
  - tratamentul leziunii se extinde la 100 µm dincolo de margini, folosind LASER argon verde cu spot de 200–500 µm, cu o durată de 0,1–0,5 secunde.
  - CNV peripapilară poate fi tratată dacă fotocoagularea va cruţa cel puţin o oră şi jumatate din stratul fibrelor nervoase temporal [12–14] .

TERAPIA FOTODINAMICĂ

- O varietate de medicamente fotosensibilizante şi LASERI specifici care asigură lumina cu absorbţia maximă pentru fiecare medicament au fost folosite în oftalmologie.
- Terapia fotodinamică cu verteporfin (PDT) a fost utilizată pentru tratamentul:
  - membranelor neovasculare coroidiene subfoveale, predominant clasice, din DMLV.
  - membranelor neovasculare coroidiene subfoveale secundare histoplasmozei.
  - membranelor neovasculare coroidiene subfoveale secundare miopiei patologice [15].

Scanned with OKEN Scanner

- De asemenea Comitetul de Evaluare al Tehnologiei Oftalmologice al Academiei Americane de Oftalmologie (AAO) recomandă PDT cu verteporfin pentru tratamentul DMLV ocult fără membrană neovasculară coroidiană.
  - PDT asociată cu alte medicamente fotosensibilizante sau folosită în alte indicații ale PDT precum tratamentul tumorilor intraoculare și corioretinopatia seroasă centrală, sunt în prezent în cercetare.
- PDT constă în două etape:
  - administrarea intravenoasă a medicamentului fotosensibilizant, care se localizează în celulele cu rată mare de proliferare, cum sunt cele din membranele neovasculare coroidiene sau tumori
  - activarea locală a medicamentului cu un LASER cu o lungime de undă specifică, nontermală. Pentru Visudyne, acesta este reprezentat de un LASER diodă cu lungime de undă de 690 nm.
- LASERUL nu încălzește sau fotocoagulează țesuturile, în schimb, energia lui produce o reacție fotochimică și trece medicamentul într-o stare energetică superioară. Medicamentul astfel activat eliberează energia moleculelor vecine de oxigen, ducând la formarea speciilor reactive de oxigen și a radicalilor liberi. Acest proces, în schimb, duce la leziuni celulare endoteliale, adeziune plachetară, tromboza vasculară și închidere capilară [15].
- Cele mai grave efecte secundare ale PDT sunt reacțiile de fotosensibilizare, care variază de la arsuri blânde până la cele de gradul II.
  - reacțiile de fotosensibilizare apar la 3,5% dintre pacienții tratați conform studiului tratamentul DMLV cu terapia fotodinamică (TAP) și in 0,4% din cazuri în studiul terapia fotodinamică cu verteporfin (VIP). Această complicație este ușor de evitat dacă pacientul este instruit corect, inclusiv să reducă expunerea la lumina soarelui, să poarte haine care să îl protejeze, ochelari speciali și o pălărie în toată perioada de fotosensibilizare corporală totală. Pentru verteporfin, această perioada durează 48 ore după tratament. Alți compuși utilizați au perioade diferite de precauție.
  - durerile de spate sau toracice au fost raportate în 2,2–2,5% dintre pacienții din studii și sunt legate de difuzia medicamentului. Durerile dispar după ce se termină difuziunea medicamentului. Nici un tratament nu și-a dovedit eficacitatea pentru a preveni aceasta durere.
  - o altă complicație întâlnită la 0,7–2,2 % dintre pacienți a fost o scădere severă a AV în primele 7 zile de tratament. Aceasta este mai frecventă în leziunile care sunt minim clasice sau oculte, fără elemente clasice, și poate conduce la pierderea permanentă de AV [15].

TERMOTERAPIA TRANSPUPILARĂ

- Termoterapia transpupilară (TTT) acționează crescând ușor temperatura coroidiană, tratând astfel membranele neovasculare coroidiene cu lezarea minimă a retinei supraiacente.

Scanned with OKEN Scanner

- TTT foloseşte un LASER infraroşu (810 nm), cu diametrul razei variind de la 0,8 la 3 mm, puterea între 250 si 750 mW şi o expunere de 1 min, care la final nu schimbă vizibil retina sau doar apare o nuanţă uşor gri.
- un studiu pilot în care TTT s-a folosit pentru membranele neovasculare coroidiene oculte a demonstrat că 56% din ochii trataţi au rămas stabili 1 an după tratament, numai 25% dintre ei pierzând două linii de AV. Studiul TTT pentru Neovascularizaţia Coroidiană (TTT4CNV) este randomizat, dublu orb şi evaluează TTT în managementul mai ales al neovascularizaţiei coroidiene oculte din DMLV.
- TTT s-a dovedit a fi util şi în managementul tumorilor intraoculare, inclusiv retinoblastom sau melanom coroidian malign [16].

APLICAŢII LASER MACULARE ÎN EMISIE NON-CONTINUĂ

- LASERUL fotocoagulator cu tipare de aplicare multispot (PASCAL) a fost introdus în ultimii ani în arsenalul clinic.
  - acesta foloseşte pulsaţii LASER de 532 nm pentru a furniza până la 56 de spoturi într-un model rapid, predeterminat.
  - chiar dacă acest tip de sistem poate reduce durata de timp pe care o folosim în tratamentele LASER, nu s-a demonstrat o îmbunătăţire a rezultatelor clinice [17].
- LASERII micropulsaţi par a reprezenta viitorul terapiei LASER retiniene.
  - tehnologia micropuls este folosită pentru a produce efect terapeutic fără a induce daune intraretiniene detectabile la examenul clinic, în timpul sau după tratament.
  - eliberarea controlată a energiei laser prin tehnologia cu micropulsuri oferă **posibilităţi terapeutice în Edemul Macular Diabetic, în Retinopatia Diabetică Proliferativă, CRSC, Edemul Macular secundar ORVR**
    - căldura generată în terapia LASER convenţională este condusă în ţesuturile învecinate, precum retina neurosenzorială şi coroidă, ceea ce presupune leziuni termice colaterale. Decolorarea „alb/gri" a arsurii laser convenţionale arată extinderea termică la retina neurosenzorială cu o temperatură suficient de înaltă pentru a altera transparenţa naturală a retinei. Această „albire" presupune o creştere a temperaturii cu 20–30°C peste temperatura normală a corpului.
    - S-a emis **ipoteza că nu ar fi necesară lezarea profundă a retinei pentru a obţine beneficii terapeutice prin laserterapie.**
    - aceste **beneficii s-ar putea obţine prin reglărea secreţiei de factori angiogenici de crestere (VEGF) mediată de reacţia biologică a celulelor EPR lezate „subletal".** EPR joacă un rol semnificativ în

Scanned with OKEN Scanner

repararea barierelor hemato-retiniene internă şi externă, indiferent de tipul sau localizarea aplicării LASERULUI.

- Mecanismul de acţiune propus al LASERULUI nondistructiv este prin inducerea hipertermiei la nivelul epiteliului pigmentar retinian (EPR) sub pragul critic al morţii celulare.
  - numeroase studii au demonstrat că LASERUL termic are un efect de stimulare asupra metabolismului şi regenerării EPR prin diverse mecanisme.
  - s-a dovedit că fotocoagularea stimulează activitatea metabolică şi expresia genelor la nivelul EPR, precum şi eliberarea ulterioară a factorilor de creştere, enzimelor şi citokinelor care reglează angiogeneza şi extravazarea intratisulară a lichidelor intravasculare (factorul de creştere endotelial (VEGF), factorul derivat din epiteliul pigmentar (PEDF), factorul de transformare a creşterii beta2 (TGF-b2), factorul celular derivat din stromă 1 (SDF-1) şi matrix metaloproteinazele (MMP)) [18–24].
  - alte studii au demonstrat că energia **LASER subliminală sau subprag induce efecte locale de regenerare, cum ar fi refacerea barierei hemato-retiniene externe şi creşterea adeziunii intercelulare** [25].
  - informaţii mai recente au susţinut **rolul expresiei proteinelor de şoc termic generate la stresul celular din leziunea termică subliminală.** Aceste proteine de şoc termic sunt molecule ubicuitare ce apar ca răspuns la stres şi ajută la repararea ţesutului lezat şi la crearea unei „toleranţe termice", crescând astfel pragul la care apar deteriorarea şi apoptoza celulară de cauză termică, inflamatorie, oxidativă sau hipoxică [26].
    - s-a demonstrat că energia necesară pentru a stimula expresia proteinelor de şoc termic este semnificativ mai mică decât cea necesară pentru a induce apoptoza sau a crea o arsură laser vizibilă [26].
  - un LASER „subvizibil" eficient se bazează pe titrarea potrivită a parametrilor de aplicare pentru a obţine niveluri ale energiei suficient de înalte pentru a „stresa" celulele EPR şi a produce un răspuns biochimic fără a cauza însă leziuni celulare permanente.
- Creşterea termică fotoindusă ce nu produce leziuni vizibile intraretiniene în timpul sau după tratamentul LASER poate fi încadrată în aşa-numitul ***tratament laser subthreshold*** [17].
  - dovezile recente arată clar că **LASERUL subthreshold poate fi la fel de eficient precum tratamentul LASER convenţional, dar cu reducerea semnificativă a leziunilor iatrogene a ţesuturilor învecinate zonei de arsură a EPR** [17].
  - modificarea parametrilor LASER (scăderea lungimii de undă, a dimensiunii spotului, a iradierii retiniene şi a duratei pulsului) poate limita leziunile retinei.
  - modificarea obiectivului clinic dintr-o arsură LASER vizibilă la o leziune sub threshold invizibilă, obţinută prin tratament laser micropulsat, poate de asemenea reduce lezarea retinei.

Scanned with OKEN Scanner

- puterea LASERULUI cu micropulsuri, redusă cu 10–25 % faţă de puterea *threshold* „vizibilă", s-a dovedit a fi suficientă pentru a produce efect asupra EPR, cruţând însă retina neurosenzorială (atât în microscopie optică cât şi electronică) [17].
  - protocoalele de protejare tisulară sunt create pentru a produce doar creşteri termice discrete cu efecte ce sunt invizibile în timpul tratamentului şi rămân astfel şi după tratament.
- temperatura retinei interne trebuie să rămână sub pragul (*threshold*) de leziune de coagulare a retinei pentru a-i menţine transparenţa naturală.
  - în loc de a livra energia necesară cu un singur puls continuu de putere înaltă, se folosesc pulsuri seriate, repetitive, de energie joasă. S-a constatat o reducere de 4 –10 ori a energiei necesare per puls, prin pulsuri repetitive de ordinul microsecundelor (*micropulsuri*), cand s-a trecut de la nivelul de leziune vizibilă (*threshold*) la cel de leziune invizibilă (*subthreshold*), detectabilă doar prin microscopia secţiunilor histologice [17].

- Când se utilizează un laser în emisie continuă spoturile se aplică fie direct în centrul zonelor de exudaţie, provocând o albire uşoară a ţesutului subiacent fie într-un grid modificat conform protocoalelor actuale ETDRS cu spoturi discrete spaţiate la două diametre de spot unul de celălalt şi aplicate pe zona de edem.
  - zona foveală avasculară trebuie cruţată cu o marjă de cel puţin 500 microni. **LASERUL micropulsat se aplică folosind protocoale cu intensitate mică, dar densitate mare a spoturilor, care se distribuie confluent într-un tipar adaptat regiunii edematoase.**
- Spre deosebire de LASERELE convenţionale, **avantajul LASERULUI subprag este că tratamentul este nedureros şi nondistructiv.**
  - zone mari de retină pot fi tratate în mod confluent, fovea poate fi tratată direct, iar tratamentul poate fi repetat fără a induce leziuni structurale sau funcţionale detectabile.
- **LASERII galbeni actuali sunt de trei tipuri în funcţie de lungimea de undă (561, 568 şi 577 nm).**
  - ei se află încă într-o strânsă concurenţă cu LASERII verzi (532 nm) extrem de versatili şi mai ieftini
  - analizând însă comparativ toate aceste tipuri de LASER se pare **că radiaţia de 577 nm oferă anumite beneficii faţă de lungimile de undă de 561, 532 respectiv 568 nm,** şi anume: dispersie şi absorbţie mai mici în mediile oculare, absorbţie mai bună la nivelul coriocapilarelor pentru un efect mai uniform la pacienţii cu pigmentare neregulată a fundului de ochi, afectare intraretiniană (neurosenzorială) redusă şi confort crescut al pacientului, tratamentul direct al structurilor vasculare (577 nm are cea mai mare absorbţie în oxihemoglobină), tratamentul foveei (absorbţie neglijabilă în pigmenţii xantofilici maculari), posibilitatea tratării ţesutului fibrovascular activ prin hemoragia supraiacentă (dacă nu este foarte groasă).

Scanned with OKEN Scanner

- Legat de această nouă terapie sunt necesare clarificări legate de mecanismul de acţiune, de reglajul fin al dozimetriei tratamentului şi se impune nevoia unor studii clinice prospective, randomizate, controlate, pentru a înţelege mai bine aplicaţiile de rutină în practica clinică şi pentru a dezvolta orientări clinice adecvate, bazate pe dovezi.

BIBLIOGRAFIE

1. H.T. Stanca. M. Munteanu. Actualităţi şi principii de tratament în fotocoagularea retiniană, Timişoara: Editura Eurostampa; ISBN 978-606-569-956-4, 2015.
2. A. Neubauer. M. Ulbig. LASER Treatment in Diabetic Retinopathy. Ophthalmologica, no. 221, pp. 95–102, 2007.
3. „Photocoagulation treatment of proliferative diabetic retinopathy: the second report of diabetic retinopathy study findings," no. 85, pp. 82–106, 1978.
4. „Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study. Photocoagulation for macular edema. Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study Report Number 1. Arch Ophthalmol. 1985," no. 103, pp. 1796–1806, 1985.
5. „Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study. Treatment techniques and clinical guidelines for photocoagulation of diabetic macular edema. Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study Report Number 2", Ophthalmology, no. 94, pp. 761–774, 1987.
6. Writing Committee for the Diabetic Rethinopathy Clinical Research Network, Fong DS, Strauber SF, *et al.*, „Comparison of the modified Early Treatment Diabetic Retinopathy Study and mild macular grid LASER photocoagulation strategies for diabetic macular edema," Arch Ophthalmol., no. 125, p. 469e480, 4 2007.
7. R. Michels. J. Gass. The natural course of retinal branch vein obstruction. Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol. 1974;78:166-177, no. 78, pp. 166–177, 1974.
8. Branch Vein Occlusion Study Group, „Argon LASER photocoagulation for macular edema in branch vein occlusion," Am J Ophthalmol., no. 98, pp. 271–282, 1984.
9. Branch Vein Occlusion Study Group, „Argon LASER scatter photocoagulation for prevention of neovascularization and vitreous hemorrhage in branch vein occlusion: A randomized clinical trial.," Arch Ophthalmol., no. 104, pp. 34–41, 1986.
10. The Central Vein Occlusion Study Group, „Evaluation of grid pattern photocoagulation for macular edema in central vein occlusion," Ophthalmology, no. 102, pp. 1425–1433, 1995.
11. The Central Vein Occlusion Study Group, „A randomized clinical trial of early panretinal photocoagulation for ischemic central vein occlusion. The Central Vein Occlusion Study Group N Report.," Ophthalmology, no. 102, pp. 1434–1444, 1995.
12. Macular Photocoagulation Study Group, „Argon LASER photocoagulation for senile macular degeneration: Results of a randomized clinical trial.," Arch Ophthalmol., No. 100, pp. 912–918, 1982.
13. Macular Photocoagulation Study Group, „Argon laser photocoagulation for ocular Histoplasmosis: Results of a randomized clinical trial.," Arch Ophthalmol, no. 101, pp. 1347–1357, 1983.
14. Macular Photocoagulation Study Group, „Argon LASER photocoagulation for idiopathic neovascularization: Results of a randomized clinical trial.," Arch Ophthalmol., no. 101, pp. 1358–1361, 1983.
15. D. Newman. Photodynamic therapy: current role in the treatment of chorioretinal conditions. Eye, vol. 2, no. 30, pp. 202–210, 2016.
16. Newsom R.S.B., McAllister J.C., Saeed M. and McHugh J.D.A.. Transpupillary thermotherapy (TTT) for the treatment of choroidal neovascularizatio. Br J Ophthalmol, no. 85, pp. 173–178, 2001.
17. Kiire C. Sivaprasad S. Micropulse LASER therapy for retinal disorders. Retina Today. January/February 2011, vol. January/February, pp. 67–70, 2011.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 20

TRATAMENTUL LASER ÎN AFECȚIUNILE MACULARE

GRETA DENISSA OLARU

TRATAMENTUL LASER ÎN DEGENERESCENȚA MACULARĂ LEGATĂ DE VÂRSTĂ

- Degenerescența maculară legată de vârstă (DMLV) cunoscută și sub numele de maculopatia legată de vârstă (MLV), este principala cauză de pierdere ireversibilă a vederii în rândul vârstnicilor, la nivel mondial. În general, este o patologie mai frecvent întâlnită în țările dezvoltate, în SUA fiind responsabilă de peste 50% din cazurile de scădere marcată a acuității vizuale în rândul caucazienilor.
- Boala debutează în general după vârsta de 60 ani, cu un maxim al prevalenței după vârsta de 80 de ani. Este o afecțiune cu o etiologie multifactorială, însă principalul factor de risc rămâne vârsta înaintată [1].
  Alti factori de risc sunt reprezentați de:
  - antecedentele heredocolaterale (DMLV este o afecțiune genetică cu transmitere ereditară);
  - rasa (caucazienii au risc mai mare față de rasa neagră);
  - fumatul și hipertensiunea arterială (cresc riscul cu până la 50% de apariție a DMLV, în special forma exsudativă);
  - dieta (consumul excesiv de grăsimi crește riscul, în timp ce o dietă bogată în antioxidanți poate avea rol protector);
  - factori de risc precum lumina solară, sexul feminin sau irisul de culoare deschisă au fost incriminați, însă implicarea lor rămâne incertă [2].
- Patogenia afecțiunii rămâne încă incomplet elucidată, însă mecanismul inițial incriminat în patogenia bolii este reprezentat de depozitele lipidice extracelulare de la nivelul epiteliului pigmentar retinian (EPR). În momentul în care afecțiunea devine decelabilă clinic, aceste depozite capătă aspect de mici leziuni rotunde, de culoare alb-gălbui ce poartă denumirea de leziuni de drusen.

Scanned with OKEN Scanner

  - Acestea sunt de obicei localizate între epiteliul pigmentar retinian şi membrana Bruch.
  - Leziunile de drusen pot fi „dure", „moi" sau asociate, însă prognosticul cel mai nefast la debutul bolii este reprezentat de apariţia leziunilor de drusen „moi", izolate sau confluate [3].
- Clasificare:
  - DMLV forma „uscata" (non-exsudativă);
  - DMLV forma „umedă" (exsudativă);
- Această clasificare rămâne totuşi mai mult didactică, deoarece nu este încă elucidat dacă cele două sunt afecţiuni complet separate sau DMLV forma exsudativă nu este decât o complicaţie evolutivă a DMLV non-exsudativă.
- În stadiile iniţiale ale bolii pacienţii rămân asimptomatici însă, pe măsură ce afecţiunea evoluează, apar manifestări precum: metamorfopsii, hesperanopie, adaptarea dificilă de la lumină la întuneric, scăderea sensibilităţii la contrast. În general, ambii ochi sunt afectaţi, dar de obicei asimetric. Scăderea acuităţii vizuale devine importantă în cazul apariţiei leziunilor de tip „atrofie geografică" în regiunea foveolară.

Simptomele pot fi ignorate sau chiar absente până în momentul apariţiei formei exsudative ce debutează brusc, cu scădere marcată a vederii [8].

DMLV forma „uscată"

- Apare datorită unui proces anormal de îmbătrânire a retinei ce duce la distrucţia progresivă a celulelor fotoreceptoare împreună cu EPR şi reţeaua de coriocapilare.
- Semnul patognomonic din punct de vedere oftalmoscopic este reprezentat de apariţia leziunilor de drusen. Prezenţa lor poate duce la apariţia zonelor de atrofie la nivelul EPR.
- Asocierea leziunilor „moi" de drusen, în special de mari dimensiuni sau confluate, cu leziunile hiperpigmentare la nivelul EPR, creşte foarte mult incidenţa apariţiei DMLV de tip exsudativ. Confluarea leziunilor de drusen la nivelul EPR poate duce la apariţia unor decolări de epiteliu pigmentar (DEP) de tip drusenoid, cu trecere către forma exsudativă [6].

DMLV forma exsudativă

- Orice dezechilibru produs la nivelul membranei Bruch, inclusiv apariţia leziunilor de drusen, poate conduce la apariţia unor neovase la nivelul coriocapilarelor. Neovasele pot genera apariţia unei reţele fibrovasculare ce va întrerupe arhitectura normală a EPR, a membranei Bruch şi a reţelei de coriocapilare. Afecţiunea poate debuta prin apariţia unei decolări de epiteliu pigmentar retinian de tip seros, hemoragic sau neovascular [5].
  - Decolările de epiteliu pigmentar sunt mai bine evidenţiate prin examinarea fundului de ochi la biomicroscop cu ajutorul unei lentile, cuantificarea lor necesitând efectuarea tomografiei în coerenţă optică (TCO) şi/sau a angiofluorografiei (AFG).

Scanned with OKEN Scanner

- TCO-ul poate aprecia încă din stadiile incipiente anomaliile apărute la nivelul EPR și la nivelul celulelor fotoreceptoare, însă utilitatea lui pentru diagnosticarea neovascularizației coroidiene (NVC) rămâne încă limitată. Totuși aceasta rămâne foarte utilă, pentru monitorizarea răspunsului la tratament.
- AFG confirmă și cuantifică neovascularizația și leziunile prezente și permite o mai bună evaluare în vederea stabilirii conduitei terapeutice optime. Din punct de vedere angiografic, este important să definim leziunile ca fiind clasice (extrafoveolare, parafoveolare sau subfoveolare) sau ocultе (fibrovasculare sau cu „leakage" tardiv de sursă necunoscută) [7,9].

Terapia LASER

- **Tratamentul LASER nu se folosește de rutina pentru tratarea DMLV non-exsudative.**
- A fost utilizată în anumite studii clinice experimentale pentru a trata leziunile de drusen, în special pe cele „moi". Totusi, deși leziunile de drusen au dispărut, rata progresiei către dezvoltarea leziunilor de tip „harta geografică" ori către dezvoltarea formei umede cu NVC nu a scăzut, fiind câteva studii care au concluzionat chiar o creștere ușoară a progresiei către NVC.

Tratamentul LASER convențional pentru DMLV forma exsudativă

- Este utilizat de mulți ani pentru tratarea DMLV-ului complicat cu NVC.
- Dacă la un pacient cu DMLV suspicionăm apariția NVC trebuie efectuată AFG sau angiografia cu verde-indocianină (AVI) pentru a putea cuantifica și delimita cât mai corect leziunile.
  - Terapia LASER este indicată pentru tratarea leziunilor neovasculare coroidiene bine delimitate, izolate sau asociate cu NVC ocultă dacă împreună formează o leziune bine delimitată.
  - Inițial de folosește un spot de 200 micrometri mărime, la o putere de aproximativ 150 mW și cu o durată de aproximativ 0,5 secunde. Acesta trebuie să acopere întreaga leziune, dar și o zonă de perilezională de aproximativ 100 de micrometri, dacă leziunea nu conține sânge [10].
- Riscul recurențelor după terapia laser nu depinde de lungimea de undă aleasă ca modalitate de tratament, ci de intensitatea insuficientă pentru a produce o arsură de culoare alb-gălbuie, uniformă, care să acopere în întregime leziunea.
- Prognostic mai prost îl au și cazurile în care ochiul congener prezintă leziuni de NVC active sau cu tratament LASER în antecedente. Dacă este prezentă doar NVC ocultă sau dacă leziunile nu sunt bine delimitate, terapia LASER ar trebui reconsiderată.
  - În acest caz, leziunile de NVC ar putea fi incomplet tratate ori s-ar putea produce distrucții retiniene iatrogene ce ar înrăutăți prognosticul vizual al pacientului.
- **Scopul tratamentului LASER este acela de a preveni progresia pierderii acuității vizuale, în special în cazul leziunilor cu localizare parafoveolară sau extrafoveolară.**

Scanned with OKEN Scanner

- Terapia LASER rămâne controversată în cazul leziunilor cu localizare subfoveolară.
  - În aceste cazuri eficacitatea terapiei este influențată de mărimea leziunilor. Cu cât o leziune este de dimensiuni mai mici, cu atât cresc șansele de a menține cât mai mult timp acuitatea vizuală preexistentă. Studiul fotocoagulării maculare (MPS) a demonstrat că cel mai important beneficiu al tratamentului LASER convențional a fost întâlnit în leziunile de NVC extrafoveolare. Totuși, au fost documentate beneficii ale tratamentului LASER și în cazul anumitor leziuni de NVC cu localizare para sau subfoveolară, mai ales în ceea ce privește îmbunătățirea sensibilității la contrast. Rezultatele pe termen lung rămân incerte în cazul pacienților cu tratament LASER la care au apărut noi leziuni de NVC subfoveolare.
- Fotocoagularea LASER nu este lipsită de riscuri printre acestea numărându-se și posibile hemoragii sau rupturi ale EPR sau ale membranei Bruch. Datorită procentului relativ mic de leziuni de neovascularizație cu margini bine delimitate (aproximativ 15%), precum și datorită posibilelor complicații (scotom central indus de LASER) și a ratei mari de recurențe, **terapia LASER rămâne de utilitate destul de limitată în această afecțiune.**
- **Tratamentele de actualitate în managementul NVC includ injecțiile intravitreene cu agenți anti VEGF, terapia fotodinamică cu verteporfina (PDT) sau combinații ale acestora.**
- În adiție, utilizarea pe termen lung a suplimentelor alimentare bogate în antioxidanți a fost dovedită științific că funcționează pentru a scădea riscul de apariție a DMLV la persoanele din grupurile de risc și pentru a încetini progresia bolii la cei diagnosticați cu DMLV.

TRATAMENTUL LASER ÎN MIOPIA DEGENERATIVĂ COMPLICATĂ CU NVC

- NVC cu localizare extrafoveolară poate fi tratată prin intermediul fotocoagulării LASER argon; se utilizează în general spoturi de aproximativ 300 micrometri, cu durata de 0,2–0,4 s [8,10].

TRATAMENTUL LASER AL STRIURILOR ANGIOIDE COMPLICATE CU NVC

- Deși este o afecțiune inițial asimptomatică, principala cauză a scăderii marcate a acuității vizuale ce poate merge chiar până la cecitate, se datorează apariției leziunilor de NVC;
  - Dacă apare o membrană de NVC însoțită de decolare de retină seroasă sau hemoragică, aceasta se poate trata prin intermediul fotocoagulării

Scanned with OKEN Scanner

LASER; anumite beneficii ale fotocoagulării LASER au fost întâlnite în cazul leziunilor de NVC bine delimitate cu localizare extrafoveolară sau chiar parafoveolară, deşi au fost descrise multiple cazuri însoţite de recurenţe importante.

- **Nu este indicat tratamentul LASER cu rol profilactic** în această afecţiune, întrucât nu aduce niciun beneficiu.
- Condiţia esenţială pentru efectuarea terapiei LASER este ca leziunile să nu fie localizate subfoveolar pentru ca scotomul central post LASER terapie să nu deterioreze în plus acuitatea vizuală [11,12].

CORIORETINITA SEROASĂ CENTRALĂ

- Este o afecţiune idiopatică ce se manifestă clinic printr-o detaşare seroasă a retinei neurosenzoriale din regiunea maculară. Aceasta afectează de obicei persoanele între 30 şi 50 de ani, sexul masculin înregistrând o incidenţă mai mare. Din punct de vedere patogenic, se produce o acumulare de lichid provenind de la nivelul reţelei de coriocapilare.
  - Mecanismul prin care se produce această acumulare rămâne incomplet elucidat, deşi s-a observat prezenţa unor defecte localizate sau difuze la nivelul EPR.
- Simptomele sunt de cele mai multe ori unilaterale, fiind reprezentate de apariţia unor metamorfopsii cu micropsii, începţoşarea vederii, dar şi o uşoară discromatopsie.
- Leziunea este decelabilă oftalmoscopic, putând fi confirmată de tomografia în coerenţă optică unde se observă prezenţa unei separări a retinei senzoriale de EPR, în regiunea maculară [6,7].
- TCO este important şi pentru urmărirea evoluţiei afecţiunii şi pentru decelarea unor eventuale alte patologii preexistente.
- Pentru confirmarea diagnosticului, mai ales în cazurile unde există dubii legate de diagnosticul diferenţial, se poate efectua AFG. Atunci când AFG-ul nu are un aspect tipic, se poate efectua angiografia cu verde-indocianină pentru a exclude alte patologii în care apare o decolare seroasă a neuroepiteliului din regiunea maculară.
- Deoarece afecţiunea se poate remite de la sine pe parcursul a 3–6 luni, iniţial se poate recomanda numai urmărirea pacientului şi cuantificarea leziunii atât oftalmoscopic cât şi prin efectuarea TCO.
  - Se poate observa o remitere completă cu recuperarea totală a acuităţii vizuale, deşi în anumite situaţii pot persista metamorfopsiile sau o uşoară discromatopsie.
- Au fost utilizate o serie de tratamente farmacologice, însă nu s-a dovedit eficacitatea certă a acestora.
- Opţiunile terapeutice includ: fotocoagularea laser, terapia fotodinamică şi mai nou se fac studii care includ şi injecţiile intravitreene cu agenti anti-VEGF.

Scanned with OKEN Scanner

- **Fotocoagularea LASER: este singura opțiune terapeutică** care și-a dovedit eficacitatea pentru a grăbi vindecarea, deși nu adus îmbunătățiri semnificative asupra prognosticului vizual;
  - pacienți la primul episod de boală, la care persista simptomatologia de peste 4–6 luni și care la AFG prezintă leakage în regiunea subfoveolară;
  - pacienți cu multiple recurențe ale afecțiunii;
  - pacienți care prin natura meseriei necesită o recuperare rapidă a acuității vizuale;
  - pacienți care prezintă sechele ale bolii pe un ochi și care dezvoltă boala și pe celălalt ochi;
    - tehnica implică utilizarea unui spot de intensitate redusă (75–150 mW), cu o mărime cuprinsă între 50 și 200 de micrometri și o durată de 0,1–0,2 secunde. Astfel, se produce o cicatrice moderată, de culoare gri, la locul de leakage de la nivelul EPR.
- Complicații: scotom central, NVC.
- Rezultatele studiilor rămân încă controversate în ceea ce privesc scăderea recurențelor sau progresia către forma cronică de CRSC după utilizarea fotocoagulării LASER.

BIBLIOGRAFIE

1. Wong WL, Su X, Li X, Cheung CM, Klein R, Cheng CY, Wong TY. Global prevalence of age-related macular degeneration and disease burden projection for 2020 and 2040: a systematic review and meta-analysis. Lancet Glob Health. 2014 Feb;2(2):e106–16. doi: 10.1016/S2214–109X(13)70145–1. Epub 2014 Jan 3.
2. Armstrong RA, Mousavi M. Overview of Risk Factors for Age-Related Macular Degeneration (AMD). J Stem Cells. 2015;10(3):171–91.
3. Age-Related Eye Disease Study Research Group A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E, beta carotene, and zinc for age-related macular degeneration and vision loss:AREDS report no.8. Arch Ophthalmology. 2006;119:1417–36.
4. Kodjikian L, Fourmaux E, Coscas F, Dumas S, Français C, Morel C, Oubraham H, Razavi S. Traitement de la dégénérescence maculaire liée à l'âge : avis d'experts et algorithme thérapeutique [Treatment of age-related macular degeneration: Expert opinion and therapeutic algorithm]. J Fr Ophtalmol. 2015 Sep;38(7):639–45. French. doi: 10.1016/j.jfo.2015.06.001. Epub 2015 Aug 24.
5. Arnold JJ. Age-related macular degeneration: anti-vascular endothelial growth factor treatment. BMJ Clin Evid. 2016 Feb 24;2016:0701.
6. Kansky JJ – Diseases of the macula, Mosby, 2002.
7. Yanoff M, Duker J S – Ophthalmology, Mosby 2004.
8. The Wills Eye Manual – Lippincot WW, 1994.
9. Cernea P – Tratat de Oftalmologie, Ed. Medicala, 2002.
10. Dumitrache Marieta – Tratat de Oftalmologie, Ed. Universitara 2005.
11. Georgalas I, Papaconstantinou D, Koutsandrea C, Kalantzis G, Karagiannis D, Georgopoulos G, Ladas I. Angioid streaks, clinical course, complications, and current therapeutic management. Ther Clin Risk Manag. 2009 Feb;5(1):81–9. Epub 2009 Mar 26.
12. Tripathy K, Quint JM. Angioid Streaks. 2020 Jul 4. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan.

BIBLIOTECA JUDEȚEANĂ „CHRASACHI"

Scanned with OKEN Scanner